

УДК 004.912 + 004.89

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-138-153>

Взаимодействие когнитивных и реактивных агентов в интеллектуальной вычислительной системе: операционная семантика

Н.С. Карамышева¹, С.А. Зинкин¹ ✉

¹ Пензенский государственный университет
ул. Красная, д. 40, г. Пенза 440026, Российская Федерация

✉ e-mail: zsa49@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Целью настоящей работы является разработка подхода к построению интеллектуальных систем на основе восполняемой семантической сети и мультиагентной среды с агентами различных типов: когнитивными и дедуктивными реактивными. Предложена и обоснована архитектура многоуровневой интеллектуальной системы, в которой используются когнитивные и реактивные интеллектуальные агенты различающихся по составу и количеству реализуемых когнитивных и дедуктивных презумпций.

Методы. Знания о предметной области формализуются как с использованием модального варианта исчисления предикатов первого порядка для описания когнитивных агентов, так и в терминах классических немодальных вариантов исчисления предикатов и механизмов дедуктивного вывода для реактивных агентов. Работа интеллектуальной системы описана не полностью определенной семантической сетью, представленной концептуальным графом, и системой продукционных правил.

Результаты. Предложена функциональная архитектура интеллектуальной агентно-базированной системы. На концептуальном уровне архитектуру интеллектуальной агентно-базированной системы предлагается представить тремя подуровнями. Когнитивные агенты пользуются знаниями и убеждениями, вытекающими из систем эпистемической логики. Когнитивные презумпции данных агентов включают убеждения, цели, намерения и желания агентов и моделируются в рамках BDI-логики.

Заключение. В проведенном исследовании показана важность BDI-логики для когнитивных агентов, хотя при решении поставленной задачи она была использована незначительно, на уровне содержательно-концептуального описания интеллектуальной системы. В расширенные функции когнитивных агентов входит выполнение операций ввода, регистрации, передачи и сопоставления списков объектов и отношений между ними. Определены цели для последующей интерпретации когнитивных агентов.

Ключевые слова: интеллектуальная система; семантические сети; концептуальные графы; когнитивные агенты; презумпции; эпистемические параметры; модальная логика; знания; желания; убеждения; намерения.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Карамышева Н.С., Зинкин С.А. Взаимодействие когнитивных и реактивных агентов в интеллектуальной вычислительной системе: операционная семантика // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №4. С. 138-153. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-138-153>.

Поступила в редакцию 30.10.2024

Подписана в печать 14.11.2024

Опубликована 10.12.2024

Interaction of cognitive and reactive agents in an intelligent computing system: operational semantics

Nadezhda S. Karamysheva¹, Sergey A. Zinkin¹ ✉

¹ Penza State University

40 Krasnaya str., Penza 440026, Russian Federation

✉ e-mail: zsa49@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. The aim of this work is to develop an approach to constructing intelligent systems based on a replenished semantic network and a multi-agent environment with agents of various types: cognitive and deductive reactive. The architecture of a multi-level intelligent system is proposed and substantiated, which uses cognitive and reactive intelligent agents that differ in composition and number of implemented cognitive and deductive presumptions.

Methods. Knowledge about the subject area is formalized both using the modal version of the first-order predicate calculus for describing cognitive agents and in terms of classical non-modal versions of predicate calculus and deductive inference mechanisms for reactive agents. The operation of an intelligent system is described by an incompletely defined semantic network represented by a conceptual graph and a system of production rules.

Results. A functional architecture of an intelligent agent-based system is proposed. At the conceptual level, the architecture of an intelligent agent-based system is proposed to be represented by three sublevels. Cognitive agents use knowledge and beliefs that follow from epistemic logic systems. Cognitive presumptions of these agents include beliefs, goals, intentions, and desires of agents and are modeled within the framework of BDI logic.

Conclusion. The conducted study shows the importance of BDI logic for cognitive agents, although it was used insignificantly in solving the task at hand, at the level of the content-conceptual description of the intelligent system. The extended functions of cognitive agents include the execution of input, registration, transmission and comparison of lists of objects and relations between them. The goals for the subsequent interpretation of cognitive agents are defined.

Keywords: intelligent system; semantic networks; conceptual graphs; cognitive agents; presumptions; epistemic parameters; modal logic; knowledge; desires; beliefs; intentions.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Karamysheva N. S., Zinkin S. A. Interaction of cognitive and reactive agents in an intelligent computing system: operational semantics. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(4): 138-153 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-4-138-153>.

Received 30.10.2024

Accepted 14.11.2024

Published 10.12.2024

Введение

Когнитивные и реактивные агенты. Используемые в настоящей работе когнитивные и реактивные интеллектуальные агенты различаются по составу и количеству реализуемых когнитивных

и дедуктивных презумпций [1, 2]. Когнитивный агент – это агент, способный воспринимать информацию и интерпретировать ее в соответствии со своей моделью знаний [3, 4]. Реактивный агент, в отличие от когнитивного агента, облада-

ет ограниченными когнитивными свойствами или не обладает ими вовсе. При поступлении входной информации реактивный выдает на выходе некоторую типовую реакцию, заложенную в него вызывающим агентом или внешней средой [5, 6, 7]. Реактивный агент может принимать поручения от когнитивных агентов, например, на реализацию дедуктивного вывода.

Логика и технология BDI-агентов.

Когнитивными эпистемическими презумпциями считаются презумпции, представляющие знания (англ. *knowledges*) агентов о положении дел и о других агентах и их когнитивных презумпциях, а также убеждения (англ. *beliefs*) агентов и способности агентов, влияющие на способы получения, хранения и изменения информации, в частности знаний и убеждений [8, 9, 10]. Цель (англ. *goal, objective*) – это желание (англ. *desire*), выбранное агентом к исполнению. Намерения (англ. *intentions*) отражают осознанный выбор агента, то есть тот план (англ. *plan*), который BDI-агент (аббревиатура от *Belief–Desire–Intention*) предпочел выполнять. Существуют и другие эпистемические презумпции когнитивных агентов, например, обязательства (англ. *obligations*), способность (англ. *capability*), решение (англ. *decision*), выбор (англ. *choice*), заключение (англ. *commitment*), согласование (англ. *coordination*)¹ [10,

11]. При программной агентно-ориентированной интерпретации данных презумпций их имена возможно использовать в качестве имен методов-процедур для агентов-объектов.

В многоуровневых моделях описание агента и используемой им модели рассуждений производится на различных уровнях обобщения (абстракции). Использование на верхних уровнях модели BDI-агентов основано на желании исследователей построить модель практических рассуждений человека в ситуациях, в которых решения приходится принимать когнитивному агенту, обладающему более развитым интеллектом по сравнению с реактивным агентом. Информационные, мотивационные и поведенческие аспекты поведения когнитивного агента могут быть формализованы в терминах ментальных понятий (убеждений, желаний и намерений) при помощи расширений модальных и темпоральных логик [10, 12, 13, 14]. В то же время возможны различные варианты поведения низкоуровневых компонент реактивного агента в зависимости от среды, в которую он помещен, а также различные представления об его интеллектуальности.

Целью настоящей работы является разработка подхода к построению интеллектуальных систем на основе выполняемой семантической сети и мультиагентной среды с агентами различных типов: когнитивными и реактивными.

¹ Модель убеждений, желаний и намерений. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_убеждений,_желаний_и_намерений. (Режим доступа свободный. Просмотрено: 12.06.2024).

Материалы и методы

Предлагаемая архитектура интеллектуальной агентно-базированной системы. На концептуальном уровне архитектуру интеллектуальной агентно-базированной системы предлагается представить тремя подуровнями (рис. 1):

– на первом подуровне с архитектурой BDI работает преимущественно агент-человек *BDI_agent1*, обладающий базой общих знаний (*Knowledges*), убеждений (*Beliefs*) и желаний (*Desires*), используемой для формирования общих намерений (*Intentions*), исполнение которых приведет к решению задачи; действия агента *BDI_agent1* разворачиваются в пространстве EHS (англ. *External Human Space*); данный агент передает управление в форме своих знаний и убеждений на нижележащий уровень агенту *BDI_agent2*;

– на следующем, втором подуровне, реализуемом также на основе архитектуры BDI в пространстве GAS (англ. *Global Agent Space*); подфункции агента *BDI_agent2* реализуются на двух подуровнях: подфункция *BDI_agent2(B)* отражает убеждения (*Beliefs*) агента о возможности получения результата – полного или частичного; результат может быть трансформирован из убеждений в знания;

– на последнем, третьем подуровне – реактивном и частично когнитивном, вторая подфункция агента *BDI_agent2(DI)* определяет желания (*Desires*) и намерения (*Intentions*) агента *BDI_agent2*. Реактивные агенты, выполняя поручения

когнитивного агента, помогают ему получать новые знания на основе дедуктивного вывода. Третий подуровень реализуется в пространстве RRAS (англ. *Rational Reactive Agent Space*) реактивных агентов.

Для графической иллюстрации метода решения поставленной задачи здесь и далее использован редактор концептуальных графов CharGer [15], получивший широкое распространение в международной практике.

Когнитивность агентов, работающих на первом и втором подуровнях, связана с модальностями, и ее можно воспринимать двояко. С одной стороны, они пользуются знаниями и убеждениями, вытекающими из систем эпистемической логики. Когнитивные презумпции данных агентов включают убеждения, цели, намерения и желания агентов и моделируются в рамках BDI-логики. Убеждения – это подверженные пересмотру правдоподобные сведения, в истинность которых агент верит; иногда их также называют верой агента в истинность тех или иных положений [1].

С другой стороны, эпистемические и целевые параметры выделения разных презумпций агентов выступают определенного рода надстройками над тем, каким образом трактуются дедуктивные параметры поведения реактивных агентов [2]. На основе сформулированных трактовок на третьем подуровне реактивные агенты реализуют свои рациональные поведения на основе дедуктивных способностей, под которыми подразумевается умение строить корректные выводы.

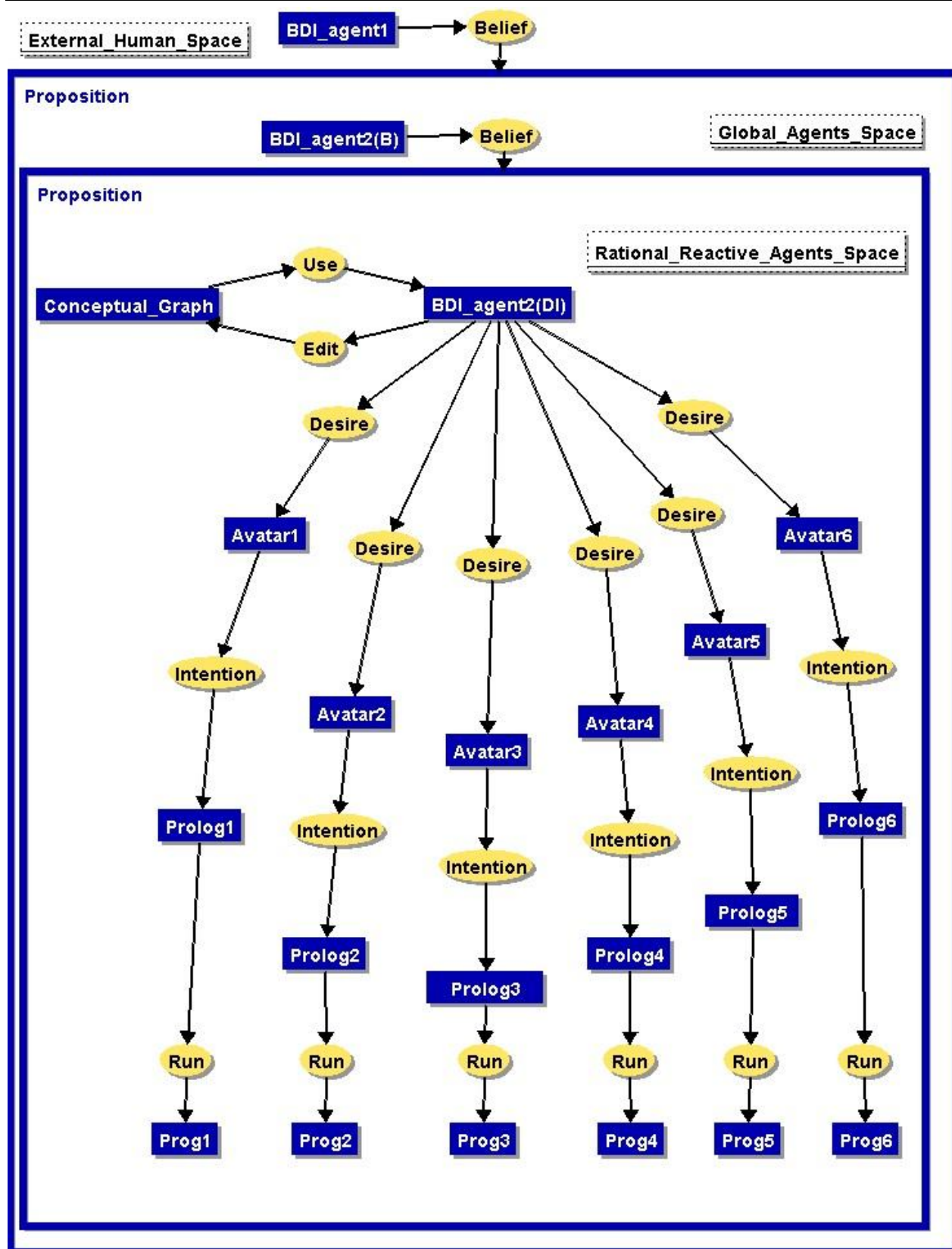


Рис. 1. Концептуальная схема взаимодействия когнитивных и реактивных агентов при работе с данными и знаниями в интеллектуальной системе

Fig. 1. Conceptual diagram of the interaction of cognitive and deductive reactive agents when working with data and knowledge in an intelligent system

На этом подуровне BDI_agent2 использует и редактирует знания о предметной области, представленные главным концептуальным графом задачи. Когнитивный агент BDI_agent2, реализуя свои желания и намерения, то есть подфункцию BDI_agent2(DI), использует реактивные агенты-аватары Avatar1, Avatar2, ..., Avatar_n, реактивные агенты-интерпретаторы языка логического программирования Prolog1, Prolog2, ..., Prolog_n и реактивные агенты-программы на языке логического программирования Prog_1, Prog_2, ..., Prog_n, определяющие факты, правила логического вывода и запросы, позволяющие описывать базы знаний, процедуры логического вывода и принятия решений.

Концептуальная схема, или граф, взаимодействия когнитивных и дедуктивных реактивных агентов при работе с данными и знаниями в интеллектуальной системе представлена на рис. 1 (при n = 6). Вершинами в форме прямоугольников представлены концепты, в том числе концепты-агенты, а овалами – отношения между данными концептами. Два концепта – пространства GAS и RRAS представлены большими прямоугольниками, которым соответствуют высказывания Proposition_1 и Proposition_2, описывающие в формализованном виде убеждения агента BDI_agent1 и убеждения, желания, намерения агента BDI_agent2.

Как известно, концептуальные графы являются графическим представлением формул логики предикатов первого

порядка. Логическое выражение, описывающее модель взаимодействия когнитивных и дедуктивных реактивных агентов при работе с данными и знаниями в интеллектуальной системе сформировано автоматически в соответствии с XML представлением схемы в памяти компьютера на рис. 1 и представимо логическим выражением в следующем компьютеризованном виде:

There is a Proposition where:
 (Belief of BDI_agent1 is Proposition_1 where:
 (Belief of BDI_agent2(B) is Proposition_2 where:
 Edit of BDI_agent2(DI) is Conceptual_Graph &
 Use of Conceptual_Graph is
 BDI_agent2(DI) &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar1 &
 Intention of Avatar1 is Prolog1 &
 Run of Prolog1 is Prog1 &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar2 &
 Intention of Avatar2 is Prolog2 &
 Run of Prolog2 is Prog2 &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar3 &
 Intention of Avatar3 is Prolog3 &
 Run of Prolog3 is Prog3 &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar4 &
 Intention of Avatar4 is Prolog4 &
 Run of Prolog4 is Prog4 &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar5 &
 Intention of Avatar5 is Prolog5 &
 Run of Prolog5 is Prog5 &
 Desire of BDI_agent2(DI) is Avatar6 &
 Intention of Avatar6 is Prolog6 &
 Run of Prolog6 is Prog6)). (1)

Здесь свойство Run относится к намерениям агентов Prolog1, Prolog2, ..., Prolog_n. Выражение (1) приводится

к математической форме записи в логике предикатов первого порядка:

```

Proposition =
Belief(BDI_agent1,
(Belief(BDI_agent2(B),
(Edit(BDI_agent2(DI), Conceptual_Graph) &
Use(Conceptual_Graph,
BDI_agent2(DI)) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar1) &
Intention(Avatar1, Prolog1) &
Run(Prolog1, Prog1) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar2) &
Intention(Avatar2, Prolog2) &
Run(Prolog2, Prog2) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar3) &
Intention(Avatar3, Prolog3) &
Run(Prolog3, Prog3) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar4) &
Intention(Avatar4, Prolog4) &
Run(Prolog4, Prog4) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar5) &
Intention(Avatar5, Prolog5) &
Run(Prolog5, Prog5) &
Desire(BDI_agent2(DI), Avatar6) &
Intention(Avatar6, Prolog6) &
Run(Prolog6, Prog6))).
(2)

```

Выражения (1) и (2) определяют условие выполнения плана действий когнитивных и рациональных дедуктивных агентов при решении логических задач, связанных с поиском недостающих объектов и отношений в семантических сетях.

Результаты и их обсуждение

Задача поиска недостающих отношений в концептуальном графе «Семейные отношения». Решение задачи поиска недостающих отношений в семантиче-

ской сети, представленной концептуальным графом, при помощи интеллектуальных агентов далее иллюстрируется примером с многими и не всегда очевидными отношениями между объектами. На рис. 2. представлен концептуальный граф «Семейные отношения» с частичным контекстным наполнением, соответствующим выбранной предметной области. Основная терминология из области семейных отношений взята из работ [16, 17, 18], а также из открытых источников в Интернете.

Здесь прямоугольниками представлены концепты, или сущности предметной области, соответствующие пространствам, в пределах которых развиваются события по исследованию родственных отношений, представленных овалами. Первый когнитивный BDI-agent1, определенный во внешнем пространстве EHS, убежден (*Belief*) в том, что в семействе *H* возможны различные семейные отношения. Он желает (*Desire*) определить конкретные отношения в данном семействе.

Однако решаемая задача усложнена тем, что не все отношения известны. На рис. 2 неопределенные, но возможно существующие (выводимые) отношения отмечены символом “?” вопроса. Поэтому для решения задачи по нахождению всех возможных отношений в концептуальном графе используется второй когнитивный BDI-agent2, которому первый BDI-agent1 поручает, выражая свое намерение (*Intention*) восполнить множество имеющихся отношений, насколько это возможно.

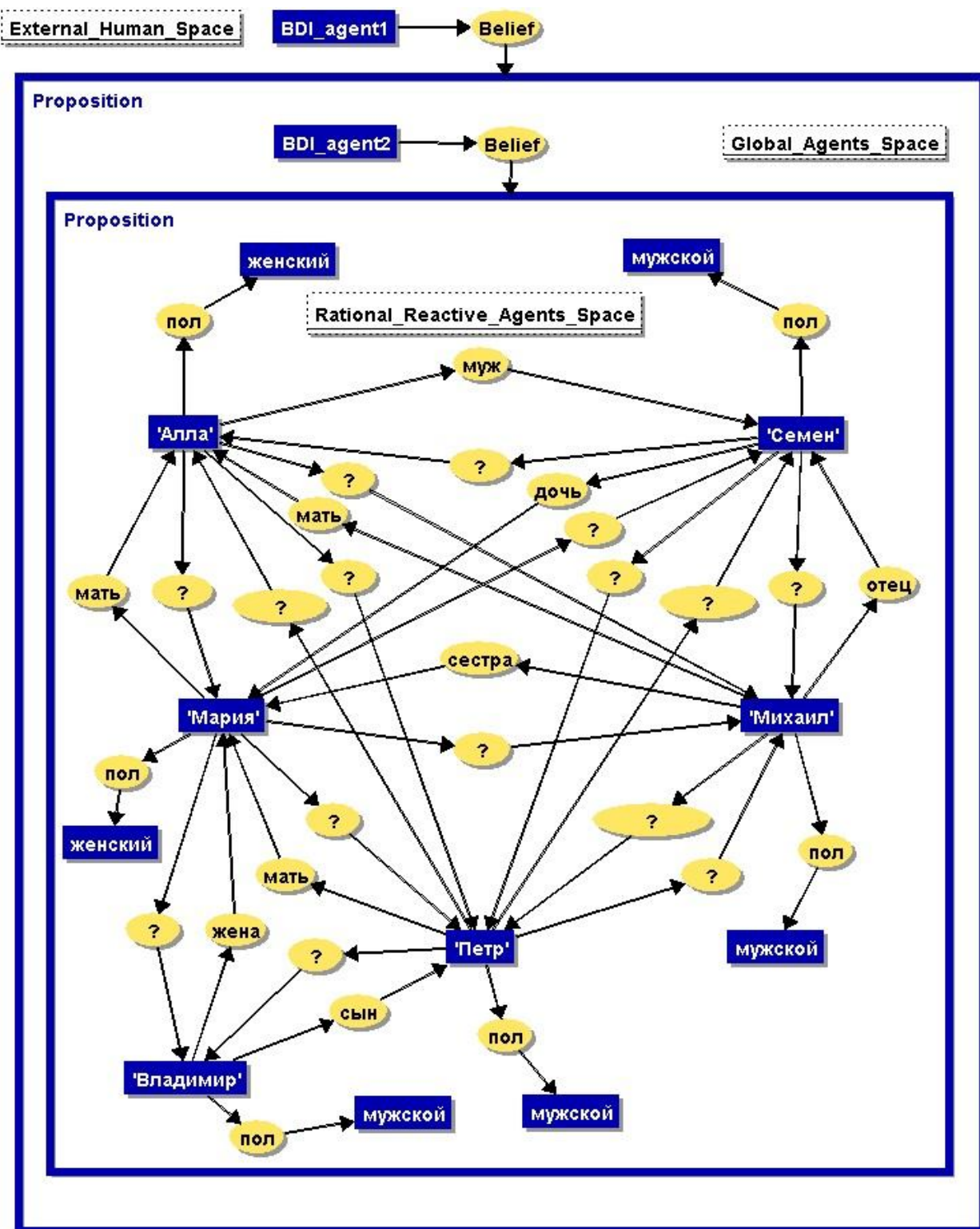


Рис. 2. Неполный концептуальный граф «Семейные отношения» с частичным контекстным наполнением

Fig. 2. Incomplete conceptual graph "Family Relationships" with partial contextual filling

Пример трехуровневой организации когнитивной интеллектуальной системы. Рассматривается пример, в котором

когнитивный BDI-agent1 знает, (Knowledge или True Beliefs), что по условию задачи на концептуальном графе с не-

полным контекстным наполнением для некоторого семейства из множества H персон определено множество отношений $R = \{\text{мать, отец, муж, жена, дочь, сын, сестра}\}$. Кроме того, BDI-agent1 имеет убеждения (*Beliefs*) о том, что для предметной области «Семейные отношения», выходящей за рамки поставленной задачи, определено множество отношений $D = \{\text{мать, отец, муж, жена, дочь, сын, сестра, брат, брат, сестра, дядя, тетя, племянник, племянница, внук, внучка, бабушка, дедушка, ...}\}$, число элементов в котором ограничено только условиями задачи; убеждения о множестве D являются не обновляемыми.

Формальное описание задачи с точки зрения когнитивного агента BDI-agent1. Под точкой зрения агента понимается его позиция (*attitude*), или его отношение, к окружающему миру. В динамических эпистемических логиках изучаются знания и убеждения, соответствующие модальным операторам необходимости “ $\square$ ” и возможности “ $\diamond$ ”, а также процедуры их модификации агентами. В приведенном ниже выражении (3) помимо обычных логических связей, переменных и предикатов используются операторы алетической модальной логики:

$$(\forall r \in R) (\exists x \in H)(\exists y \in H) [(x \neq y) \& \square P(x, r, y)] \& (\forall d \in D) (\exists x \in H) (\exists y \in H) [(x \neq y) \& \diamond P(x, d, y)], \quad (3)$$

где $P(x, r, y)$ – тернарный предикат-инцидентор; “ $\square$ ” – модальный оператор “необходимо”, “ $\diamond$ ” – модальный опера-

тор “возможно”; H – множество имен членов семейства, известных когнитивному агенту BDI-agent1, то есть членов семейства, находящихся в каких-либо семейных отношениях родства или свойства друг с другом. Предполагается, что агент BDI-agent1 знает, что в состав семейства входят личности (персоны) с именами, образующими множество $H = \{\text{Алла, Мария, Семен, Владимир, Петр, Михаил}\}$. Некоторые из отношений между этими личностями известны и составляют множество R по условию задачи. Кроме того, агент BDI-agent1 убежден в существовании отношений из множества D , которое будет считаться эталонным, поскольку оно отражает коллективный опыт поколений, использовавших данные названия отношений. Свои знания и убеждения о множествах R и D агент BDI-agent1 передает агенту BDI-agent2.

Формальное описание задачи с точки зрения когнитивного агента BDI-agent2. Когнитивный агент BDI-agent2 функционирует в абстрактном пространстве GAS – глобальном пространстве интеллектуальных агентов. Агент BDI-agent2 принимает сведения о множестве отношений R как знания. Все отношения из множества R известны из условия задачи, поэтому их логический вывод не потребуется. На основе этих знаний формируется экстенциональная база данных (ЭБД) о предметной области «Семейные отношения». База данных ЭБД будет использоваться дедуктивными реактивными агентами в про-

цессе логического вывода наряду с множеством правил вывода, составляющих интенциональную базу данных (ИБД). Приведенное ниже выражение (4) соответствует знаниям и убеждениям когнитивного агента BDI-agent2:

$$(\forall r \in R') (\exists x \in H') (\exists y \in H') [(x \neq y) \& \square P(x, r, y)] \& (\exists d \in D') (\exists x \in H') (\exists y \in H') [(x \neq y) \& \diamond P(x, d, y)], \quad (4)$$

В данном выражении множества R' , D' и H' являются копиями множеств, передаваемых агенту BDI-agent2 от агента BDI-agent1. Квантор существования $\exists d \in D'$ при переменной d означает, что агент BDI-agent2 убежден в наличии и должен доопределить отношение родства d и личностей x и y , которые связаны этим отношением. Сведения о составе множества отношений D' агент BDI-agent2 принимает лишь как *убеждения*, так как некоторые родственники и соответствующие им отношения могут в принципе отсутствовать по различным причинам: их неизвестности, не рождения, не вступления в брак, смерти, не выводимости из имеющихся исходных данных (концептуального графа и его частичного контекстного наполнения) и др.

Логическая модель «Семейные отношения» с частично неизвестными бинарными отношениями. На первом этапе решения задачи производится переход от графа, представленного на рис. 2, к компьютеризованному формульному представлению (5):

There is a Proposition where:

(Belief of BDI_agent1 is Proposition were:

(Belief of BDI_agent2 is Proposition where:

(пол of 'Мария' is женский &

пол of 'Пепр' is мужской &

пол of 'Владимир' is мужской &

пол of 'Мухаил' is мужской &

пол of 'Алла' is женский &

пол of 'Семен' is мужской &

мать of 'Мария' is 'Алла' &

мать of 'Пепр' is 'Мария' &

отец of 'Мухаил' is 'Семен' &

дочь of 'Семен' is 'Мария' &

жена of 'Владимир' is 'Мария' &

сын of 'Владимир' is 'Пепр' &

муж of 'Алла' is 'Семен' &

мать of 'Мухаил' is 'Алла' &

сестра of 'Мухаил' is 'Мария' &

? of 'Мария' is 'Семен' &

? of 'Алла' is 'Мухаил' &

? of 'Семен' is 'Алла' &

? of 'Пепр' is 'Владимир' &

? of 'Пепр' is 'Мухаил' &

? of 'Мухаил' is 'Пепр' &

? of 'Пепр' is 'Алла' &

? of 'Алла' is 'Пепр' &

? of 'Семен' is 'Пепр' &

? of 'Мария' is 'Владимир' &

? of 'Алла' is 'Мария' &

? of 'Мария' is 'Пепр' &

? of 'Пепр' is 'Семен' &

? of 'Семен' is 'Мухаил' &

? of 'Мария' is 'Мухаил')))). (5)

Данное сложное высказывание получено при помощи программы, конвертирующей XML-представление концептуального графа на рис. 2. Часть строк, не начинающихся с символа вопроса“?”, который используется для

обозначения неизвестных пока отношений, использована далее при формировании базы фактов ЭБД. Другая часть строк выражения (5), начинающихся с знака вопроса “?”, преобразуется и представляется в форме запросов к ЭБД и ИБД:

? – $d('Мария', X, 'Семен')$.
 ? – $d('Алла', X, 'Михаил')$.
 ? – $d('Семен', X, 'Алла')$.
 ? – $d('Петр', X, 'Владимир')$.
 ? – $d('Петр', X, 'Михаил')$.
 ? – $d('Михаил', X, 'Петр')$.
 ? – $d('Петр', X, 'Алла')$.
 ? – $d('Алла', X, 'Петр')$.
 ? – $d('Семен', X, 'Петр')$.
 ? – $d('Мария', X, 'Владимир')$.
 ? – $d('Алла', X, 'Мария')$.
 ? – $d('Мария', X, 'Петр')$.
 ? – $d('Петр', X, 'Семен')$.
 ? – $d('Семен', X, 'Михаил')$.
 ? – $d('Мария', X, 'Михаил')$. (6)

Здесь каждая строка в множестве строк (6) представляет собой «заготовку» для запросов к фактам и правилам базы знаний БЗ = ЭБД + ИБД. Каждой строке соответствует несколько запросов; переменная d , с которой начинается каждая строка, должна принимать последовательно значения из множества D' имен отношений, в существовании которых *убежден* когнитивный агент BDI-agent2. Переменная X по мере последовательного выполнения запросов примет последовательно значения имен искомых отношений.

Программная реализация когнитивных операций может выполняется с при-

менением обычных императивных языков программирования и возможно, языков манипулирования данными. Для реализации функций дедуктивных реактивных агентов при выполнении операций с семантическими сетями и концептуальными графами в большинстве случаев достаточно использовать возможности какого-либо языка декларативного и частично императивного языка типа Пролог, обладающего возможностью дедуктивного вывода [19, 20].

Примечание. Обычный язык Пролог¹, в основу которого положена логика предикатов первого порядка FOL (англ. *First Order Logic*), не допускает использование переменных в качестве предикатных символов, поэтому в настоящей работе эта проблема обходится за счет использования тернарных (трехместных) предикатов и одноименных тернарных отношений.

В дальнейшем базы ЭБД и ИБД, составляющие базу знаний БЗ «Семейные отношения», возможно построить таким образом, что станет возможным задавать запросы на поиск не только отношения X , но и самих концептов A и B – членов семьи, между которыми установлены отношения, например:

¹ Пролог. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prolog/>;

SWI-Prolog. Robust, mature, free. Prolog for the real world. URL: <https://www.swi-prolog.org/>;

Wielemaker J. SWI-Prolog Semantic Web Library 3.0. URL: [https://www.swi-prolog.org/pldoc/doc_for?object=section\(%27packages/semweb.html%27\)](https://www.swi-prolog.org/pldoc/doc_for?object=section(%27packages/semweb.html%27)).

$$\begin{aligned} ? - \text{родство_сын}(A, X, B), \\ ? - \text{родство_сын1}(A, X, B), \end{aligned} \quad (7)$$

где в первом случае $d = \text{'родство_сын'}$ (запрос к ЭБД), а во втором $d = \text{'родство_сын1'}$, (запрос к ИБД), что сделает возможным получение сразу нескольких ответов на данные запросы. Например, для решаемой задачи два члена семьи являются сыновьями, а отношение *сын* связывает четыре пары концептов – членов семейства.

Выводы

Резюмируя, отметим, что в проведенном исследовании показана важность BDI-логики для когнитивных агентов на уровне содержательно-концептуального описания. В расширенные функции когнитивных агентов входит выполнение операций ввода, регистрации, передачи и сопоставления списков объектов и отношений между ними. Программная реализация этих операций выполняется с применением обычных императивных языков программирования и возможно, языков манипулирования данными.

Постановка задачи настоящей работы инспирирована в том числе и тем фактом, что эволюция существующей Всемирной паутины в Семантическую паутину требует наличия эффективных приемов и средств представления метаданных для работы с отношениями между сущностями. К числу наиболее важных задач может относиться задача определения путем логического вывода

недостающих отношений между сущностями (концептами) в семантической сети. Реализация подобной идеи во многом зависит от материализации концепции интеллектуальных агентов. В настоящей работе эта проблема решается на основе взаимодействия когнитивных и реактивных (дедуктивных) агентов при работе с данными и знаниями в интеллектуальной системе.

При решении частных задач поиска недостающих отношений можно воспользоваться и искусственными нейронными сетями [21, 22].

Материалы и методы настоящего исследования основаны на оперировании понятиями (концептами), описанными в терминах предметной области. На конкретном примере проиллюстрировано решение задачи о поиске возможно или необходимо существующих отношений между концептами, что потребовало обратиться к логике и технологии когнитивных BDI-агентов и, в частности, к эпистемической модальной логике. Использованы понятия о когнитивных эпистемических презумпциях, которыми считаются презумпции, представляющие знания (англ. *knowledge*, или *true_beliefs*) агентов о предметной области, позицию агента (англ. *attitude*) по отношению к окружающему миру о положении дел и о других агентах и их когнитивных презумпциях, а также убеждения (англ. *beliefs*) агентов и способности агентов, влияющие на способы получения, хранения и изменения информации, в частности *знаний* и *убеждений*.

Понятие цель (англ. *goal, objective*) – это желание (англ. *desire*), выбранное агентом к исполнению, то есть его мотивационное состояние. Намерения (англ. *intentions*) отражают осознанный выбор агента, то есть тот план (англ. *plan*), который BDI-агент (аббревиатура от *Belief–Desire–Intention*) предпочел выполнять.

Проблема реализации взаимодействий когнитивных и реактивных агентов

на основе анализа семантики предметной области важна при реализации интеллектуальных вычислительных систем и в дальнейшем может решаться на основе детального анализа предметной области – агентно-ориентированной интеллектуальной среды, в том числе при учете семантики возникающих отношений с возможным использованием правил дедуктивного вывода.

Список литературы

1. Лисанюк Е. Н. Когнитивные характеристики агентов аргументации // Вестн. СПбГУ. Серия 6. 2013. Вып. 1. С. 13–21.
2. Лисанюк Е. Н., Павлова А. М. Логические аспекты многообразия агентов // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2016. Т. 11, № 4. С. 45–60.
3. Макаренко С. И., Соловьева О. С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетцентрических систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. №4. 24 с. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>.
4. Макаренко С.И. Справочник научных терминов и обозначений. СПб.: Научные технологии, 2019. 254 с.
5. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. NCOIC, 2008. 154 p.
6. Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds. International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2006). Volume Cybernetics and Systems 2006, Austrian Society for Cybernetic Studies (2006) 18th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2006).
7. Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds. Second International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2008). Volume Cybernetics and Systems 2008, Austrian Society for Cybernetic Studies (2008) 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008).
8. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic I: Modeling Knowledge and Belief // Philosophy Compass. 2013. Vol. 8, № 9. P. 798–814.
9. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic II: Logics of Information Change // Philosophy Compass. 2013. Vol. 8, № 9. P. 815–833.
10. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2008. 532 p.

11. Wooldridge M. J. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley&Sons, 2009. 484 p.
12. Логический подход к искусственному интеллекту. От модальной логики к логике баз данных / А. Тейз, П. Грибомон, Г. Юлен [и др.]. М.: Мир, 1998. 494 с.
13. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи [и др.]. М.: Мир, 1990. 429 с.
14. Пантелеев М. Г. Логические модели интеллектуальных агентов. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 1-24. URL: https://vec.etu.ru/moodle/pluginfile.php/303181/mod_resource/content/1/Лекция_3.%20Логические%20модели%20ИА.pdf. (Режим доступа свободный. Просмотрено: 12.06.2024).
15. Delugach, H. CharGer: A Graphical Conceptual Graph Editor. URL: <https://github.com/delugach/Charger?ysclid=lz8svjwmda912032950/>. (Режим доступа свободный. Просмотрено: 12.06.2024).
16. Карамышева Н. С., Зинкин С. А., Митрохин М. А. Методы и модели интеллектуализации вычислительных и киберфизических систем. Пенза: Изд-во ПГУ, 2022. 176 с.
17. Интеллектуальная обработка информации / М. А. Митрохин, Н. С. Карамышева, В. Ю. Егоров, С. А. Зинкин. Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. 320 с.
18. Князева М. Д., Карамышева Н. С., Григорьева Д. Д. От алгоритма к программе и искусственному интеллекту. С примерами на языках Python и Prolog / под ред. С. А. Зинкина. Пенза: Изд-во ПГУ, 2024. 412 с.
19. Залогова Л.А. Формальное описание логического вывода в Прологе // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2014. Вып. 4(27). С. 84–91.
20. Тюрин С. Ф., Городилов А. Ю. Особенности логического вывода в Пролог-программах // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 3 (46). С. 91-97. DOI: 10.17072/1993-0550-2019-3-91-97.
21. О программной реализации когнитивных интероперабельных агентно-базированных систем / Н.С. Карамышева, А.С. Милованов, М.А. Митрохин, С.А. Зинкин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024; 28(1): 100-122. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-1-100-122>.
22. Когнитивная пиринговая инфраструктура для организации коллективной работы над проектами на основе agile-методологии / Н.С. Карамышева, В.С. Александров, И.А. Кирюткин, С.А. Зинкин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 131-163. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-131-163>.

References

1. Lisanyuk E. N. Cognitive characteristics of agents of argumentation. *Vestn. SPbGU. Ser. 6. Vyp. 1. = Bulletin St. Petersburg State University. Series 6.* 2013; 1: 13–21 (In Russ.).

2. Lisanyuk E. N., Pavlova A. M. Logical aspects of the diversity of agents. *Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravlenie = Bulletin of UrFU. Series: Economics and management*. 2016; 11(4): 45-60. (In Russ.).
3. Makarenko S.I., Solovyova O.S. Basic provisions of the concept of semantic interoperability of network-centric systems. *Zhurnal radioelektroniki = Journal of Radioelectronics*. 2021; (4): 24. (In Russ.). <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>.
4. Makarenko S.I. Directory of scientific terms and notations. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii Science-intensive technologies; 2019. 254 p. (In Russ.).
5. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. NCOIC, 2008. 154 p.
6. Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds. International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2006). Volume Cybernetics and Systems 2006, Austrian Society for Cybernetic Studies (2006) 18th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2006).
7. Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds. Second International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2008). Volume Cybernetics and Systems 2008, Austrian Society for Cybernetic Studies (2008) 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008).
8. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic I: Modeling Knowledge and Belief. *Philosophy Compass*. 2013; 8(9): 798–814.
9. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic II: Logics of Information Change. *Philosophy Compass*. 2013; 8(9): 815–833.
10. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press; 2008. 532 p.
11. Wooldridge M. J. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley&Sons, 2009. 484 p.
12. Teiz A., Gribomon P., Ulen G., et al. Logical approach to artificial intelligence: from modal logic to database logic] / Moscow: Mir; 1998. 494 p. (In Russ.).
13. Teiz A., Gribomon P., Louis J., et al. Logical approach to artificial intelligence: from classical logic to logic programming. Moscow: Mir; 1990. 429 p. (In Russ.).
14. Panteleev M. G. Logical models of intelligent agents. *SPbGETU «LETI»*, 2022, 1-24 pp. Available at: https://vec.etu.ru/moodle/pluginfile.php/303181/mod_resource/content/1/Lecture_3/ (accessed 12.06.2024).
15. Delugach H. CharGer: A Graphical Conceptual Graph Editor. Available at: <https://github.com/delugach/Charger?ysclid=1z8svjwmda912032950/>. (accessed 12.06.2024).
16. Karamysheva N. S., Zinkin S. A., Mitrohin M. A. Methods and models of intellectualization of computing and cyber-physical systems. Penza: Izd-vo PGU; 2022. 176 p. (In Russ.).

17. Mitrohin M. A., Karamysheva N. S., V Egorov. Yu., Zinkin S. A. Intelligent information processing. Penza: Izd-vo PGU; 2023. 320 p. (In Russ.).
18. Knyazeva M. D., Karamysheva N. S., Grigor'eva D. D. From Algorithm to Program and Artificial Intelligence. With Examples in Python and Prolog; ed. by Zinkin S. A. Penza: Izd-vo PGU; 2024. 412 p. (In Russ.).
19. Zalogova L.A. Formal Description of Logical Inference in Prolog. *Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2014; 4:84–91 pp. (In Russ.).
20. Tyurin S. F., Gorodilov A. Yu. Features of logical inference in Prolog programs. *Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2019; 3: 91-97 (In Russ.). DOI: 10.17072/1993-0550-2019-3-91-97.
21. Karamysheva N. S., Milovanov A. S., Mitrokhin M. A., Zinkin S. A. On the Software Implementation of Cognitive Interoperable Agent-Based Systems. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(1): 100-122 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-1-100-122>.
22. Karamysheva N. S., Alexandrov V. S., Kiryutkin I. A., Zinkin S. A. Cognitive peer-ing infrastructure for the organization teamwork on projects based on agile methodology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 131-163 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-131-163>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Карамышева Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: karamyshevans@yandex.ru

Nadezhda S. Karamysheva, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, Penza, Russian Federation, e-mail: karamyshevans@yandex.ru

Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: zsa49@yandex.ru

Sergey A. Zinkin, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Penza State University, Penza, Russian Federation, e-mail: zsa49@yandex.ru