

УДК 004.912 + 004.89

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-52-78>

Взаимодействие когнитивных и реактивных агентов в интеллектуальной вычислительной системе: принципы организации

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. Постановка проблемы обусловлена перспективой эволюционирования существующей Всемирной паутины (World Wide Web) в Семантическую паутину (Semantic Web). Целью настоящей работы является разработка интеллектуальной мультиагентной среды с агентами различных типов: когнитивными и дедуктивными реактивными. Показано, что хранилище знаний (knowledge) и убеждений (beliefs) когнитивных BDI-агентов (BDI – аббревиатура от Belief–Desire–Intention) в виде фактов экстенциональной базы данных может быть использовано для получения новых знаний и убеждений путем дедуктивного вывода в среде интенциональной базы данных агентов, обладающих дедуктивными презумпциями.

Методы. Работа интеллектуальной системы описана не полностью определенным концептуальным графом и системой продукционных правил, пригодных для представления дедуктивных презумпций агентов в декларативно-императивном языке программирования высокого уровня. Реактивные агенты реализуют свои рациональные поведения на основе дедуктивных способностей, под которыми подразумевается умение строить корректные выводы.

Результаты. Предложена реализация интеллектуальной агентно-базированной системы. На концептуальном уровне архитектуру интеллектуальной агентно-базированной системы предлагается представить тремя подуровнями. Когнитивность агентов, работающих на первом и втором подуровнях, связана с модальностями. На основе сформулированных трактовок на третьем подуровне реактивные агенты реализуют свои рациональные поведения на основе дедуктивных способностей, под которыми подразумевается умение строить корректные выводы.

Заключение. Показано, что программная реализация когнитивных презумпций может выполняться с применением обычных императивных языков программирования и, возможно, языков манипулирования данными. На примере восполнения недостающих отношений в конкретной предметной области продемонстрирована реализация функций дедуктивных реактивных агентов при выполнении операций с концептуальными графами.

Ключевые слова: интеллектуальная система; концептуальные графы; дедуктивные агенты; интенционал; экстенционал; дедуктивный вывод; программная реализация.

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: принципы организации // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025. Т. 29, №1. С. 52-78. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-52-78>.

Поступила в редакцию 30.11.2024

Подписана в печать 12.01.2025

Опубликована 14.04.2025

Interaction of cognitive and reactive agents in an intelligent computing system: principles of organization

Nadezhda S. Karamysheva ¹, Sergey A. Zinkin ¹ ✉

¹ Penza State University

40 Krasnaya str., Penza 440026, Russian Federation

✉ e-mail: zsa49@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. The problem statement is inspired, among other things, by the fact of the evolution the existing World Wide Web into the Semantic Web. The aim of this work is to develop a multi-agent environment with agents of different types: cognitive and deductive reactive. It is shown that the knowledge and beliefs storage of cognitive BDI agents (BDI is an abbreviation for Belief–Desire–Intention) in the form of facts of an extensional database can be used to obtain new knowledge and beliefs by deductive inference in the environment of an intensional database of agents possessing deductive presumptions.

Methods. The operation of an intelligent system is described by an incompletely defined conceptual graph and a system of production rules suitable for representing deductive presumptions of agents in a high-level declarative-imperative programming language. Reactive agents implement their rational behaviors based on deductive abilities, which are understood as the ability to build correct conclusions.

Results. The implementation of an intelligent agent-based system is proposed. At the conceptual level, the architecture of the intelligent agent-based system is proposed to be represented by three sublevels. The cognition of agents working at the first and second sublevels is associated with modalities. Based on the formulated interpretations at the third sublevel, reactive agents implement their rational behavior based on deductive abilities, which imply the ability to build correct conclusions.

Conclusion. It is shown that the software implementation of cognitive presumptions can be performed using conventional imperative programming languages and, possibly, data manipulation languages. The implementation of the functions of deductive reactive agents when performing operations with conceptual graphs is demonstrated using the example of filling in missing relations in a specific subject area.

Keywords: intelligent system; conceptual graphs; cognitive agents; reactive agents; presumptions; epistemic parameters; deductive inference; beliefs; true- beliefs.

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: principles of organization. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(1): 52-78 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-52-78>.

Received 30.11.2024

Accepted 12.01.2025

Published 14.04.2025

Введение

Когнитивные и реактивные агенты. Когнитивная функциональная архитектура интеллектуальной системы может быть определена как структура, обеспечивающая реализацию антропоморфных и нейроморфных функций в естественных или искусственных системах. Однако на современном этапе создания когнитивных структур, берущих свое начало от характеристик психических процессов личности, данные характеристики зачастую могут рассматриваться лишь как красивые метафоры, имеющие опосредованное отношение к личности и используемые для усиления смыслового содержания и вызова эмоциональной реакции пользователя [1]. При этом отдельные высокоуровневые функции мозга могут рассматриваться как мнемонические указания на то, как трактуются логические (не модальные) модели процессов познавательного поведения человека и его «аватара», воплощенного в виде программы для компьютера или киберфизической системы [2].

В настоящей работе предлагается учитывать познавательную сферу в структуре психических процессов когнитивного, то есть способного к познавательной деятельности агента-человека. Как известно [3, 4, 5], познавательные процессы личности включают ощущение, внимание, восприятие, представление, память, воображение, мышление и речь. Мотивационные элементы структуры психи-

ки личности, такие как установки, интересы, желания, впечатления приводят к появлению или усилению новообразований – знаний, умений, навыков и привычек.

Используемые в настоящей работе когнитивные и реактивные интеллектуальные агенты различаются по составу и количеству реализуемых когнитивных и дедуктивных презумпций [6, 7]. Когнитивный агент – это агент, способный воспринимать информацию и интерпретировать ее в соответствии со своей моделью знаний. Реактивный агент, в отличие от когнитивного агента, обладает ограниченными когнитивными свойствами или не обладает ими вовсе. Однако реактивный агент может принимать поручения от когнитивных агентов, например, на реализацию дедуктивного вывода [8, 9].

Логика и технология BDI-агентов. В предыдущей работе авторов [10] при решении задачи о восполнении отношений в концептуальном графе на начальном этапе предложено воспроизводить рассуждения на основе когнитивных эпистемических презумпций, которыми 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 способности получения, хранения и изменения информации, в частности *знаний и убеждений* [11, 12, 13]. *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 [13, 14]. При программной агентно-ориентированной интерпретации данных презумпций их имена возможно использовать в качестве имен методов-процедур для агентов-объектов.

Известны работы, положившие развитие когнитивной логики BDI-агентов. В классической работе [15] предложена модель рассуждения агента, в которой использованы механизмы вывода на основе ментальных понятий; в результате на основе модальной логики предложено, как можно категоризовать различные комбинации взаимодействий между *убеждениями*, *желаниями* и *намерениями*.

Авторы работы [16], вводя первичные и вторичные эмоции в архитектуру BDI, представляют общую архитектуру для эмоционального агента, EBDI (*Emotion, Belief, Desire and Intention*), которая может объединять различные теории

эмоций с процессом рассуждения и обучения агента.

В работе [17] предложена интеллектуальная среда для разработки гибридных когнитивных агентов, обладающих причинно обусловленной реактивностью, эмоциональной ментальностью и способностью к обучению.

В нашей предыдущей работе [10] показано, что хранилище *знаний* (*knowledge*) и *убеждений* (*beliefs*) когнитивных BDI-агентов в виде фактов экстенсionalной базы данных (ЭБД – база данных, содержащая только факты и не содержащая правил) может быть использовано для получения новых *знаний* и *убеждений* путем дедуктивного вывода в среде интенсionalной базы данных (ИБД – база данных, содержащая правила) агентов, обладающих дедуктивными презумпциями. При этом логика и технология BDI-агентов используется фактически на концептуальном уровне в виде полезных метафор и реализуется на уровне языка хранения и манипулирования данными и знаниями.

В настоящей работе делается попытка воспроизведения модели практических рассуждений человека в ситуациях, когда приходится принимать решения когнитивному агенту, обладающему более развитым интеллектом по сравнению с реактивным агентом. Этим рассуждениям приблизительно соответствуют такие элементы структуры психики когнитивного агента-человека, как представление, память, воображение, мышление, принятие решений.

¹ Модель убеждений, желаний и намерений.
URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_убеждений,_желаний_и_намерений.

Для справки [18]: «Формальные модели интеллектуальных агентов часто строятся с использованием различных модальных логик. Модальная логика – логика, содержащая, помимо стандартных логических связей, переменных и/или предикатов, модальные операторы (модальности). В соответствии с типами используемых модальностей, существует множество модальных логик: алетические (*необходимо, возможно*); временные (*когда-то, в будущем, всегда в прошлом, всегда* и др.); пространственные (*здесь, где-то, близко* и др.); эпистемические, использующие высказывания, содержащие познавательные понятия (*полагает, сомневается, проверяемо, верифицируемо, не проверяемо* и др.); логики знания (*известно, что*); доказуемости (*можно доказать, что*); деонтические (изучают логические связи нормативных высказываний) и другие модальности».

Возможны различные аспекты поведения низкоуровневых компонент реактивного агента в зависимости от среды, в которую он помещен, а также различные представления об его интеллектуальности. В настоящем исследовании работа низкоуровневого агента формализуется на основе логики предикатов первого порядка и правила дедуктивного вывода.

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

типов: когнитивными и дедуктивными реактивными.

В качестве примера для демонстрации предлагаемой методологии используется известная модель родственных и свойственных семейных отношений, концептуальный граф для которой приведен, например, в работах [19, 20]. При исследовании модели было решено ограничиться учетом кровного родства в одном поколении, в соседних поколениях и через поколение¹. Для простоты не приняты во внимание отношения «кузен-кузина». Отношения «муж» и «жена» условно считаются кровными родственными. Из рассмотрения исключены отношения-свойства (не кровные родственные).

Анализ данной модели основан на использовании эпистемических презумпций когнитивного антропоморфного агента или агента-человека, согласующего свою работу с реактивными агентами. Рассматривается тип реактивных агентов, обладающих дедуктивными презумпциями.

Материалы и методы

Обоснование трехуровневой функциональной архитектуры мультиагентной интеллектуальной системы. В настоящее время известны следующие платформы для разработки BDI-агентов: PRS, dMARS, AgentSpeak, Jason, JADEX,

¹ Кровное родство по прямой линии. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Родство#Кровное_родство_по_прямой_линии.

2APL, 3APL, GOAL, Jack, SPARK и JAM [21]. Из указанных платформ активно развиваются dMARS [22], Jadex [23], Jason [24] и Jack [25], основанные на использовании знаний и убеждений (*knowledge, beliefs*), а также механизмов выбора намерений (*desires, goals, intentions*).

Разработка BDI-агентов должна поддерживаться платформами разработки агентов. Например, в системе PRS (система процедурного обоснования) структура данных архитектуры BDI состоит из убеждений, желаний, намерений и планов. Они должны быть объединены с использованием интерпретатора BDI, который выбирает соответствующие желания в качестве намерений на основе текущих убеждений. Наконец, интерпретатор отвечает за выбор и выполнение плана своих намерений [15, 26].

Однако, как показывает анализ работ [21-26], возможности полных высказываний модальной логики, к которой относится и BDI-логика, редко используются в разработке агентов, а также трудно (однако необходимо) найти реальное применение модальной логики, кроме как в концептуальной разработке систем.

Классификация типов когнитивных агентов включает три общих класса логических параметров, то есть компетенций, по которым агенты могут различаться: эпистемические, целевые, или акционально-деятельностные, и дедуктивные [27, 28]. В настоящей работе также считается справедливым положение, вытекающее из работ [27, 28], о

том, что эпистемические и целевые параметры выделения разных презумпций двух первых классов агентов выступают определенного рода надстройками (в том числе и модальными) над тем, каким образом трактуются дедуктивные параметры презумпций третьего класса, реализуемых в процессе кооперативного поведения когнитивных, рациональных и реактивных агентов.

Под данным видом презумпций третьего класса в настоящей работе понимаются различные немодальные логические системы, которые лежат в основании рассуждений реактивных дедуктивных агентов; при этом дедуктивные презумпции агентов характеризуют немодальную логику, используемую в качестве базовой, а именно, логику предикатов первого порядка. При необходимости к этой логике может быть затем добавлена модальная часть – эпистемическая или акционально-деятельностная.

Элементы методологии BDI-PRS построения функциональной архитектуры агентно-базированной системы. В искусственном интеллекте известна методология PRS¹ (англ. *Procedural Reasoning System*) процедурных рассуждений, которая представляет собой некоторую структуру (*framework*) для построения интеллектуальных систем, работающих в реальном времени и выполняющих сложные задачи в динамических средах. Фреймворк PRS был со-

¹ Procedural_reasoning_system. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Procedural_reasoning_system.

здан на основе модели BDI и использовался в программном обеспечении для управления интеллектуальным агентом, предназначенным для обнаружения неисправностей в системе управления космическим челноком NASA Space Shuttle Discovery¹ [22, 26]. Разработка PRS продолжалась в Австралийском институте искусственного интеллекта, что привело к созданию новой реализации на языке C++ под названием dMARS – агентно-ориентированная среда для разработки и внедрения сложных, распределенных, критичных по времени систем. Разработанная для быстрой настройки и простоты интеграции, она облегчает проектирование, обслуживание и реинжиниринг систем.

Система PRS основана на понятии рационального агента или интеллектуального (когнитивного) агента, использующего программную модель BDI. Подобно модели, система PRS объясняет и интерпретирует функции реактивного агента, реализующего намерения и планы вышестоящего когнитивного агента. Однако, в отличие от системы планирования BDI, генерирующей полный план (при непредвиденных ситуациях возможно перепланирование), система PRS чередует планирование и выполнение действий².

Функциональная архитектура интеллектуальной системы, названная ар-

хитектурой BDI-PRS, включает следующие компоненты³:

- убеждения (*beliefs*), представленные в виде базы данных (фактов) о предметной области;
- желания (*desires*) и цели (*goals*), представленные в виде условий, которые должна реализовать система по описаниям внутреннего и внешнего состояния агента и предметной области;
- области знаний (*knowledge areas*) о планах (*plans*), которые определяют последовательности низкоуровневых действий для достижения цели в конкретных ситуациях;
- намерения (*intentions*), которые включают те знания, которые были выбраны для текущего и конечного выполнения;
- интерпретатор (*interpreter*), или механизм логического вывода (*inference engine*), который управляет системой.

Методология построения функциональной архитектуры BDI-PRS агентно-базированной системы предназначена для когнитивного «агента-человека», то есть для инженера по знаниям или системного программиста, и отражает его основные действия.

Основные этапы методологии BDI-PRS:

- анализ предметной области и выработка убеждений (*beliefs*), переходя-

¹ Procedural_reasoning_system. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Procedural_reasoning_system.

² Там же.

³ Procedural_reasoning_system. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Procedural_reasoning_system.

щих в процессе проектирования в знания (*true-beliefs*), и их представление в виде базы знаний (фактов) о предметной области; на данном этапе возможно построение концептуальной модели интеллектуальной системы;

- формирование желаний (*desires*) и целей (*goals*), состоящих в создании спецификаций для распределенного приложения, представленных в виде условий, которые должна реализовать система по описаниям внутреннего и внешнего состояния предметной области;

- формирование области знаний (*knowledge areas*) о планах (*plans*), которые определяют последовательность этапов формализации спецификаций для последующей реализации компьютерных программ;

- формирование намерений (*intentions*), которые включают те знания, которые выбираются для текущего и конечного выполнения и должны быть использованы при составлении правил работы интерпретатора;

- создание интерпретатора (*interpreter*) правил логического вывода (*inference engine*), на основании которых осуществляется управление распределенной интеллектуальной системой.

Предлагаемая реализация интеллектуальной агентно-базированной системы. В нашей предыдущей работе [1] была представлена трехуровневая архитектура интеллектуальной агентно-бази-

рованной системы (рис. 1), где на первом подуровне с архитектурой BDI работает 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.

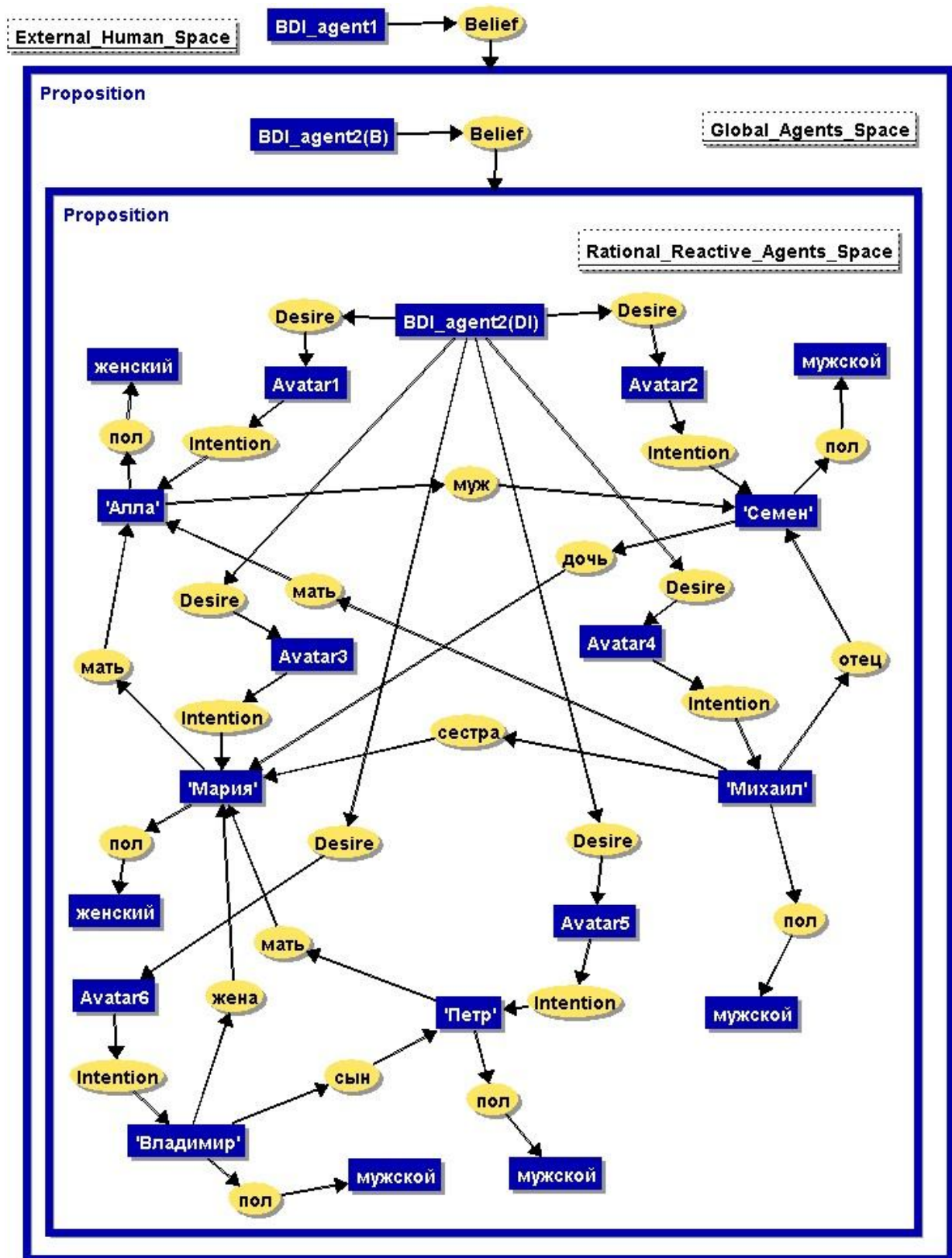


Рис. 1. Неполный концептуальный граф «Семейные отношения» и иерархия когнитивных и дедуктивных интеллектуальных агентов

Fig. 1. Incomplete conceptual graph "Family relations" and hierarchy of cognitive and deductive intelligent agents

В новой модели третий подуровень реализуется в пространстве RRAS (англ. *Rational Reactive Agent Space*) реактивных агентов.

На этом уровне происходит формирование намерений (*intentions*), которые включают те знания, которые выбираются для текущего и конечного выполнения и должны быть использованы при составлении правил работы интерпретатора (*interpreter*) правил логического вывода (*inference engine*), на основании которых осуществляется управление распределенной интеллектуальной системой.

На рис. 2 представлен неполный концептуальный граф «Родственные отношения» с частичным контекстным наполнением. Поставлена задача нахождения всех недостающих отношений в данном графе. При составлении правил логического вывода для реактивных агентов, работающих на нижнем уровне архитектуры BDI-PRS, предлагается использование языка Пролог.

Основы дедуктивного логического вывода в Пролог-программах хорошо известны и описаны, например, в работах [29, 30]. Как известно, «Пролог – это полный по Тьюрингу язык программирования общего назначения, который хорошо подходит для приложений интеллектуальной обработки знаний. Особый интерес представляет собой одно из направлений развития языка, реализующее концепцию интеллектуальных агентов. Программа на языке Пролог состоит из набора фактов, кото-

рые описывают отношения между объектами и правил, позволяющих находить новые отношения. Пролог использует метод дедуктивного вывода на основе принципа резолюции. Программа на Прологе способна находить ответы на вопросы, заданные в виде целей. Программа выполняет поиск в базе знаний, используя унификацию и логический вывод, чтобы найти все возможные решения для заданной цели»¹. При программировании на языке Пролог нередко приходится учитывать не только его декларативную, но и процедурную, или императивную, семантику. Последняя связана с определением порядка следования утверждений Пролога.

Результаты и их обсуждение

Интеллектуальная система для поиска отношений между объектами, использующая когнитивные (эпистемические) и дедуктивные (реактивные) агенты. Для продолжения решения задачи поиска недостающих предикатных имен предпринимаются действия, обусловленные новой иерархической структурой когнитивных и дедуктивных реактивных интеллектуальных агентов.

Этапы применения методологии BDI-PRS при реализации:

- интеллектуальной системы с когнитивными и реактивными;
- дедуктивными агентами.

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

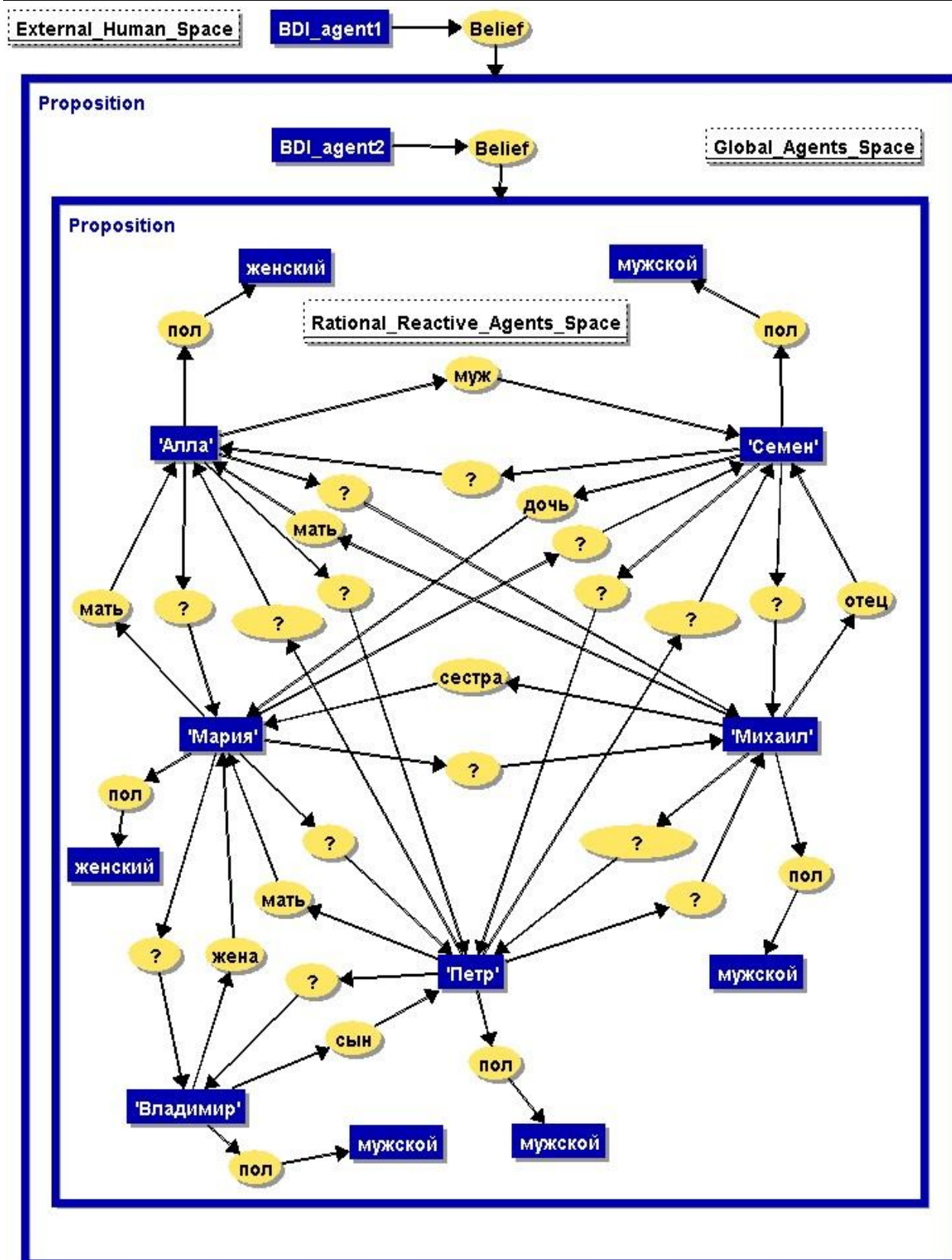


Рис. 2. Неполный концептуальный граф «Семейные отношения» с частичным контекстным наполнением

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

Формирование базы знаний и убеждений когнитивного агента BDI-agent1.

TRUE-BELIEFS (определение области знаний). Анализ предметной области (рис. 2) показывает, что когнитивному агенту BDI-agent1 должно быть известно множество субъектов предметной области $H = \{\text{Алла, Семен, Мария, Михаил, Петр, Владимир}\}$ и множество отношений $R = \{\text{жена, мать, муж, отец, дочь, сын, сестра}\}$.

BELIEFS (определение убеждений). На основании неполного концептуального графа на рис. 2 когнитивный агент BDI-agent1 может быть убежден в том, что между субъектами предметной области могут быть установлены отношения $D = \{\text{жена, мать, муж, отец, дочь,}$

$\text{сын, сестра, брат, дядя, тетя, племянник, племянница, бабушка, дедушка, внук, внучка}\}$, часть из которых относится к знаниям (*true-beliefs*), $R \subset D$.

Передача элементов множества D когнитивному агенту BDI-agent2. На основе элементов множества D и базы фактов и правил, то есть базы знаний, интеллектуальной системы будет сформирована KNOWLEDGE AREA & PLAN – область знаний о планах действий когнитивного агента BDI-agent2 и подчиненного ему агента-слуги Avatar.

DESIRES & GOALS (формирование желаний и целей когнитивного агента BDI-agent2). Желания и цели непосредственно и автоматически определяются по концептуальному графу на рис. 2:

? of 'Мария' is 'Семен';	? of 'Семен' is 'Петр';
? of 'Алла' is 'Михаил';	? of 'Мария' is 'Владимир';
? of 'Семен' is 'Алла';	? of 'Алла' is 'Мария';
? of 'Петр' is 'Владимир';	? of 'Мария' is 'Петр';
? of 'Петр' is 'Михаил';	? of 'Петр' is 'Семен';
? of 'Михаил' is 'Петр';	? of 'Семен' is 'Михаил';
? of 'Петр' is 'Алла';	? of 'Мария' is 'Михаил';
? of 'Алла' is 'Петр';	

где символ вопроса «?» обозначает, что необходимо определить соответствующее отношение. Например, запись «? of 'Алла' is 'Петр'» означает, что необходимо определить родственное отношение, связывающее Аллу и Петра.

Define KNOWLEDGE AREAS & PLANS (формирование области знаний о планах когнитивного агента BDI-agent2 и подчиненных ему реактивных

агентов-слуг Avatars). Обычный язык Пролог¹, в основу которого положена логика предикатов первого порядка FOL (англ. *First Order Logic*), не допускает использование переменных в каче-

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/>; Wilemaker 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)).

стве предикатных символов, поэтому в настоящей работе эта проблема обходится за счет переинтерпретации логической модели запросов в п.2 на основе

использования тернарных (трехместных) предикатов для построения запросов к базе знаний:

?- d('Мария', X, 'Семен').	?- d('Семен', X, 'Петр').
?- d('Алла', X, 'Михаил').	?- d('Мария', X, 'Владимир').
?- d('Семен', X, 'Алла').	?- d('Алла', X, 'Мария').
?- d('Петр', X, 'Владимир').	?- d('Мария', X, 'Петр').
?- d('Петр', X, 'Михаил').	?- d('Петр', X, 'Семен').
?- d('Михаил', X, 'Петр').	?- d('Семен', X, 'Михаил').
?- d('Петр', X, 'Алла').	?- ('Мария', X, 'Михаил').
?- d('Алла', X, 'Петр').	

Здесь для каждого запроса при помощи реактивного агента-слуги Avatar переменная d пробегает по всем элементам множества D отношений, в существовании которых убежден когнитивный агент BDI-agent2. Например, при ответе «true» на запрос

«?- d('Мария', X, 'Семен')»

станет известен тот факт, что субъекты предметной области *Мария* и *Семен* связаны отношением, имя которого содержится в предметной переменной X , значение которой в данный момент равно значению переменной d . Таким образом постепенно будет сформирована область знаний KNOWLEDGE AREA на основании плана PLAN взаимодействий когнитивного агента BDI-agent2 с подчиненным ему реактивным агентом-слугой Avatar. Этот план может быть реализован только после того, как будет создана база знаний интеллектуальной системы, содержащая факты и правила вывода.

Define INTENTIONS – формирование намерений, которые включают те знания, которые выбираются для текущего и конечного выполнения и должны быть использованы при составлении правил работы интерпретатора машины вывода в логике предикатов первого порядка. В рамках этапа 4 осуществляется представление фактов и правил о предметной области в виде программы на языке SWI-Prolog. Для реализации самого нижнего уровня иерархии интеллектуальной системы использована программа на языке Пролог, построенная на основе логической модели рис. 1 и рис. 2 и дополнительных правил. Используемая версия SWI-Prolog – это свободно распространяемая реализация языка программирования Пролог¹. Более подробные сведения об интеграции

¹ 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)).

языка SWI-Prolog с другими языками можно найти по ссылкам на сайте <https://www.swi-prolog.org>.

В силу сказанного в дальнейшем без ограничения общности будем считать программу на Прологе «агентом Prolog», непосредственно взаимодействующим с агентом-посредником, или агентом-службой, Avatar. Программа агента Prolog тиражируется, и каждая ее копия связывается с программой агента Avatar, что делает возможной параллельную работу с несколькими копиями базы знаний.

```
пол('Алла',женский).
пол('Владимир',мужской).
пол('Мария',женский).
пол('Михаил',мужской).
пол('Петр',мужской).
пол('Семен',мужской).
родство_дочь('Семен',дочь,'Мария').
родство_жена('Владимир',жена,'Мария').
родство_мать('Мария',мать,'Алла').
родство_мать('Михаил',мать,'Алла').
родство_мать('Петр',мать,'Мария').
родство_муж('Алла',муж,'Семен').
родство_сын('Владимир',сын,'Петр').
родство_отец('Михаил',отец,'Семен').
родство_сестра('Михаил',сестра,'Мария').
```

Beliefs: правила для интенциональной базы данных (ИБД), составленные на основе концептуального графа на рис. 2:

```
родство_сын1(Y, сын, X): –родство_мать(X, мать, Y),
пол(X, мужской),пол(Y, женский).
родство_сын1(Y, сын, X): –родство_отец(X, отец, Y),
пол(X, мужской), пол(Y, мужской).
родство_дочь1(Y, дочь, X): –родство_мать(X, мать, Y),
пол(X, женский), пол(Y, женский).
родство_дочь1(Y, дочь, X): –родство_отец(X, отец, Y),
пол(X, женский), пол(Y, мужской).
родство_жена1(Y, жена, X): –родство_муж(X, муж, Y),
```

Ниже представлена программа агента на языке Пролог, состоящая из двух частей – достоверно известных фактов типа *true-beliefs* для экстенциональной базы данных (ЭБД) и правил формирования отношений типа *beliefs* для интенциональной базы данных (ИБД); совместно ЭБД и ИБД образуют базу знаний ЭБД+ИБД.

True-beliefs: факты для экстенциональной базы данных (ЭБД), составленные на основе концептуального графа рис. 1:

пол(X, женский).

родство_муж1(X, муж, Y): – родство_жена(Y, жена, X), пол(Y, мужской), пол(X, женский).

родство_брат1(X, брат, Y): – родство_сестра(Y, сестра, X),

пол(Y, мужской), пол(X, женский).

родство_сестра1(X, сестра, Y): – родство_брат1(Y, брат, X),

пол(Y, женский), пол(X, мужской).

родство_отец1(X, отец, Y): – родство_сын(Y, сын, X),

пол(Y, мужской), пол(X, мужской).

родство_отец1(X, отец, Y): – родство_дочь(Y, дочь, X),

пол(Y, мужской), пол(X, женский).

родство_мать1(X, мать, Y): – родство_сын(Y, сын, X),

пол(Y, женский), пол(X, мужской).

родство_мать1(X, мать, Y): – родство_дочь(Y, дочь, X) ,

пол(Y, женский), пол(X, женский).

родство_бабушка(X, бабушка, Z): – (родство_отец(X, отец, Y);

родство_отец1(X, отец, Y)), (родство_мать(Y, мать, Z);

родство_мать1(Y, мать, Z)), пол(Y, мужской), пол(Z, женский).

родство_бабушка(X, бабушка, Z): – (родство_мать(X, мать, Y);

родство_мать1(X, мать, Y)), (родство_мать(Y, мать, Z);

родство_мать1(Y, мать, Z)), пол(Z, женский), пол(Y, женский).

родство_дедушка(X, дедушка, Z): – (родство_отец(X, отец, Y);

родство_отец1(X, отец, Y)), (родство_отец1(Y, отец, Z);

родство_отец(Y, отец, Z)), пол(Y, мужской), пол(Z, мужской).

родство_дедушка(X, дедушка, Z): – (родство_мать(X, мать, Y);

родство_мать1(X, мать, Y)) , (родство_отец(Y, отец, Z);

родство_отец1(Y, отец, Z)), пол(Y, женский), пол(Z, мужской).

родство_внук(X, внук, Y): – родство_дедушка(Y, дедушка, X),

пол(Y, мужской), пол(X, мужской).

родство_внук(X, внук, Y): – родство_бабушка(Y, бабушка, X),

пол(Y, мужской), пол(X, женский).

родство_внучка(X, внучка, Y): – родство_бабушка(Y, бабушка, X), пол(X, женский),

пол(Y, женский).

родство_внучка(X, внучка, Y): – родство_дедушка(Y, дедушка, X), пол(X, мужской),

пол(Y, женский).

родство_племянник(Z, племянник, X): – (родство_мать(X, мать, Y);

родство_мать1(X, мать, Y)), (родство_сестра(Y, сестра, Z);

родство_сестра1(Y, сестра, Z)), пол(Y, женский), пол(Z, женский), пол(X, мужской).

родство_племянник(Z, племянник, X): – (родство_отец(X, отец, Y);

родство_отец1(X, отец, Y)), родство_брат1(Y, брат, Z),

пол(Y, мужской), пол(Z, мужской), пол(X, мужской).

родство_племянник(Z , племянник, X): $\neg(\text{родство_мать}(X, \text{мать}, Y);$
 родство_мать1(X , мать, Y)), родство_брат1(Y , брат, Z),
 пол(Y , женский), пол(Z , мужской), пол(X , мужской).
 родство_племянник(Z , племянник, X): $\neg(\text{родство_отец}(X, \text{отец}, Y);$
 родство_отец1(X , отец, Y)), (родство_сестра(Y , сестра, Z);
 родство_сестра1(Y , сестра, Z)), пол(Y , мужской), пол(Z , женский), пол(X , мужской).
 родство_племянница(Z , племянница, X): $\neg(\text{родство_мать}(X, \text{мать}, Y); \text{род-}$
 ство_мать1(X , мать, Y)), (родство_сестра(Y , сестра, Z);
 родство_сестра1(Y , сестра, Z)), пол(Y , женский), пол(Z , женский), пол(X , женский).
 родство_племянница(Z , племянница, X): $\neg(\text{родство_отец}(X, \text{отец}, Y);$
 родство_отец1(X , отец, Y)), родство_брат1(Y , брат, Z),
 пол(Y , мужской), пол(Z , мужской), пол(X , женский).
 родство_племянница(Z , племянница, X): $\neg(\text{родство_мать}(X, \text{мать}, Y);$
 родство_мать1(X , мать, Y)), родство_брат1(Y , брат, Z),
 пол(Y , женский), пол(Z , мужской), пол(X , женский).
 родство_племянница(Z , племянница, X): $\neg(\text{родство_отец}(X, \text{отец}, Y);$
 родство_отец1(X , отец, Y)), (родство_сестра(Y , сестра, Z);
 родство_сестра1(Y , сестра, Z)), пол(Y , мужской), пол(Z , женский), пол(X , женский).
 родство_дядя(X , дядя, Z): $\neg(\text{родство_отец}(X, \text{отец}, Y);$
 родство_отец1(X , отец, Y)), родство_брат1(Y , брат, Z),
 пол(Y , мужской), пол(Z , мужской).
 родство_дядя(X , дядя, Z): $\neg(\text{родство_мать}(X, \text{мать}, Y);$
 родство_мать1(X , мать, Y)), родство_брат1(Y , брат, Z),
 пол(Y , женский), пол(Z , мужской).
 родство_тетя(X , тетя, Z): $\neg(\text{родство_отец}(X, \text{отец}, Y);$
 родство_отец1(X , отец, Y)), (родство_сестра(Y , сестра, Z);
 родство_сестра1(Y , сестра, Z)), пол(Y , мужской), пол(Z , женский).
 родство_тетя(X , тетя, Z): $\neg(\text{родство_мать}(X, \text{мать}, Y);$
 родство_мать1(X , мать, Y)), (родство_сестра(Y , сестра, Z);
 родство_сестра1(Y , сестра, Z)), пол(Y , женский), пол(Z , женский).

INTERPRETER & INFERENCE ENGINE – создание интерпретатора правил логического вывода, на основании которых осуществляется управление распределенной интеллектуальной системой. Факты ЭБД и правила ИБД составляют единую программу. Отметим, что в программе использованы тернарные предикаты, для которых определены в качестве вторых аргументов имена

определенных и искомых отношений. Возможны и другие варианты программы. Представленный вариант основан на стремлении избежать рекурсий при выполнении программы. По этой причине модифицированы имена отношений в множестве D , по которым пробегает предметная переменная d :

$$D' = \{\text{родство_мать}, \text{родство_мать1}, \text{родство_отец}, \text{родство_отец1},$$

родство_жена, родство_жена1,
 родство_муж, родство_муж1,
 родство_дочь, родство_дочь1,
 родство_сын, родство_сын1,
 родство_сестра, родство_сестра1,
 родство_брат1, родство_бабушка,
 родство_дедушка, родство_внук,
 родство_внучка, родство_дядя,
 родство_тетя, родство_племянник,
 родство_племянница}.

Модификации осуществлены путем добавления приставки «родство» ко всем предикатным именам в программе на языке SWI Prolog и должны использоваться при формировании запросов к базе знаний ЭБД+ИБД. Кроме того, в модифицированное множество D' добавлены имена отношений родство_дочь1, родство_жена1, родство_мать1, родство_муж1, родство_сын1, родство_отец, родство_сестра1, так как они используются в правилах Пролог-программы для различения точно (*true-beliefs*) имеющихся и возможно (*beliefs*) имеющихся отношений.

SAMPLES – образцы диалога агента Avatar и агента Prolog. Запросы агента Avatar должны адресоваться к ЭБД (к фактам) и к ИБД (к правилам для дедуктивного вывода ответа) и составлены по типу выражений для запросов к программам на языке Пролог:

а) запрос к ЭБД и ответ:

? – родство_сын(А,В,С),
 А = 'Владимир', В = сын, С = 'Петр';

б) запрос к ИБД и 3 ответа:

? – родство_сын1(А,В,С),
 А = 'Алла', В = сын, С = 'Михаил';

А = 'Мария', В = сын, С = 'Петр';
 А = 'Семен', В = сын, С = 'Михаил'.

Из ответов видно, что Петр является общим сыном Марии и Владимира, а Михаил – общим сыном Аллы и Семена.

В случаях, когда в запросы синтаксически составлены правильно, но указываются отношения, отсутствующие в ЭБД или ИБД, интерпретатор языка Пролог указывает на ошибочные ситуации, которые могут быть проанализированы и учтены реактивным агентом и когнитивным агентом BDI-agent2, реагирующим на сообщения соответствующего агента-аватара.

Реализация запросов агента Avatar к агенту Prolog. Одним из способов нахождения неизвестных отношений в концептуальном графе на рис. 1 является получение ответов на запросы в базе знаний ЭБД+ИБД для каждого персонажа из множества членов семейства *H*. Для нахождения семейных отношений, или связей, каждого персонажа с другими членами семейства, агенты-аватары, реализуя имеющиеся у них *намерения*, используют запросы следующего вида:

«? – имя_отношения(список_переменных или_констант)».

Например, задавая запросы от персонажа 'Семен' к персонажам из множества *H* и наоборот, от данных персонажей к персонажу 'Семен', получим имена отношений и персонажей, с которыми он имеет какие-либо родственные связи. Результирующий концептуальный граф для концепта 'Семен' приведен на рис. 3.

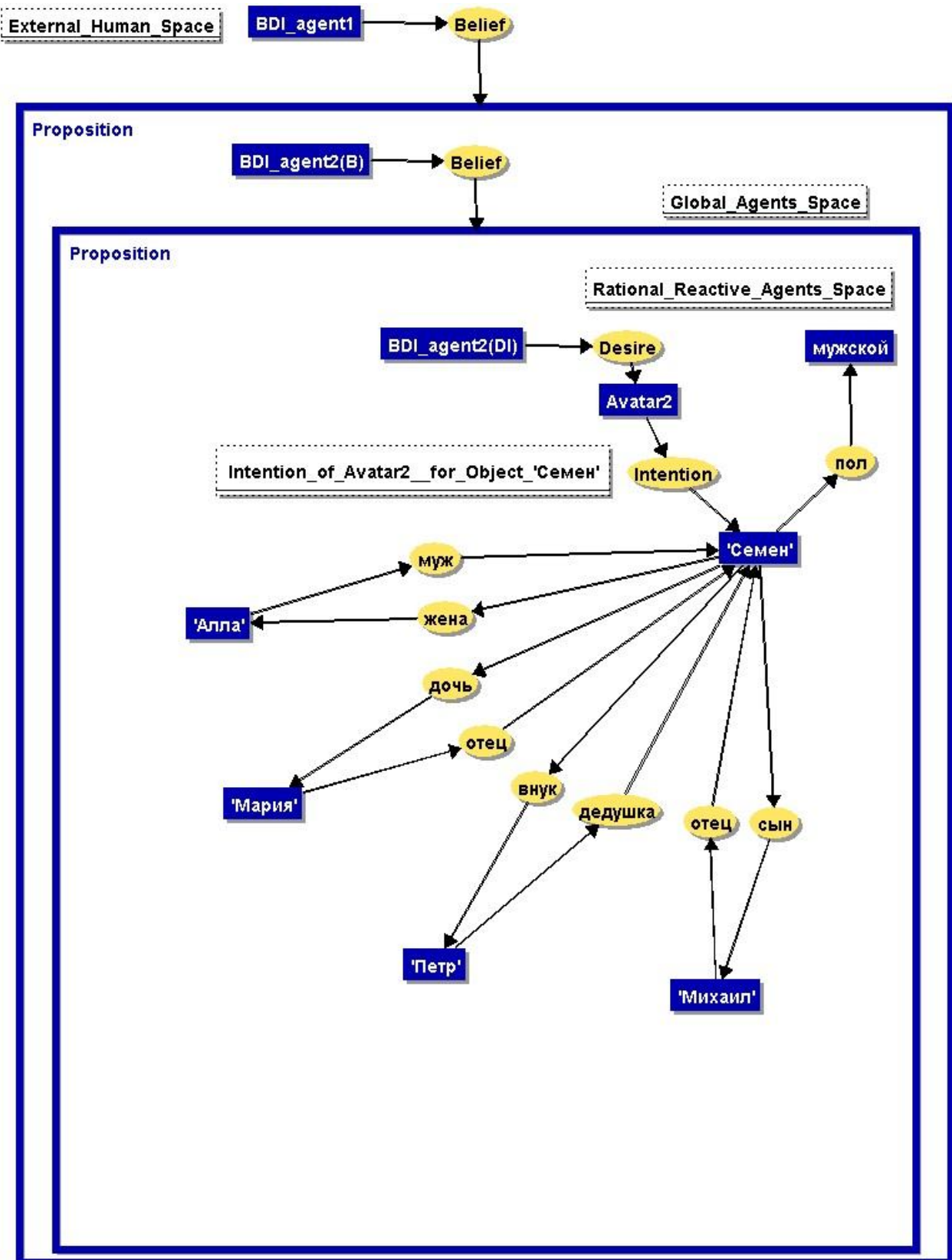


Рис. 3. Решение: результирующий концептуальный граф для персонажа 'Семен'

Fig. 3. Solution: Resulting conceptual graph for the character 'Semyon'

После того, как остальные агенты Avatar проделают указанные действия, будет получено полное решение – результирующий концептуальный граф на рис. 4 и найденные отношения для всех членов семейства *H*. Этот результат передается от когнитивного агента BDI_agent2 когнитивному агенту BDI_agent1 в виде следующего тернарного отношения *K*:

$$K \subset H' \times D' \times H',$$

представляющего собой точные знания (*knowledge* или *true_beliefs*). Агент BDI_agent1 получит возможность сравнения полученного состава отношений с теми отношениями, в существовании которых он был убежден ранее.

Например, будут даны отрицательные ответы на запросы о существовании отношений родства *племянница*, *внучка* и *тетя*, поскольку подобные отношения не могут быть получены путем дедуктивного вывода из имеющихся отношений, хотя правила вывода для них определены. Отрицательные ответы будут даны и на запросы о существовании отношений-свойств *шурин*, *зять*, *тесть*, *деверь* и *невестка* ввиду отсутствия соответствующих правил вывода отношений-свойств по условию задачи.

Если агент BDI_agent1 «узнает» об отсутствии этих правил, он может передать поручение (то есть свои *желание* и *намерение*) агенту BDI_agent2 подготовить дополнительные правила для последующих попыток дедуктивного вывода указанных отношений свойств на

основе уже полученных знаний об отношениях, отмеченных на концептуальном графе на рис. 4:

а) выводимо отношение *шурин* – брат жены:

правило: $\text{свойство_шурин}(Y, \text{шурин}, X): \neg(\text{рогство_жена}(Y, \text{жена}, Z); \text{рогство_жена1}(Y, \text{жена}, Z)), \text{рогство_брат1}(Z, \text{брат}, X);$

запрос к ЭБД и ИБД и ответ – отношение *шурин* выводимо:

? – $\text{свойство_шурин}(Y, W, X);$

$Y = \text{'Владимир'}, W = \text{шурин}, X = \text{'Михаил'},$

то есть Михаил является шурином Владимира;

б) выводимо отношение *зять* – муж дочери:

правило: $\text{свойство_зять}(Y, \text{зять}, X): \neg(\text{рогство_дочь}(Y, \text{дочь}, Z); \text{рогство_дочь1}(Y, \text{дочь}, Z)), (\text{рогство_муж}(Z, \text{муж}, X); \text{рогство_муж1}(Z, \text{муж}, X));$

запрос к ЭБД и ИБД и ответы – отношение *зять* выводимо:

? – $\text{свойство_зять}(Y, W, X);$

$Y = \text{'Семен'}, W = \text{зять}, X = \text{'Владимир'};$

$Y = \text{'Алла'}, W = \text{зять}, X = \text{'Владимир'},$

то есть Владимир является зятем для родителей его жены Марии: отца Семена и матери Аллы;

в) выводимо отношение *тесть* – отец жены:

правило: $\text{свойство_тесть}(Y, \text{тесть}, X): \neg(\text{рогство_жена}(Y, \text{жена}, Z); \text{рогство_жена1}(Y, \text{жена}, Z)), (\text{рогство_отец}(Z, \text{отец}, X); \text{рогство_отец1}(Z, \text{отец}, X));$

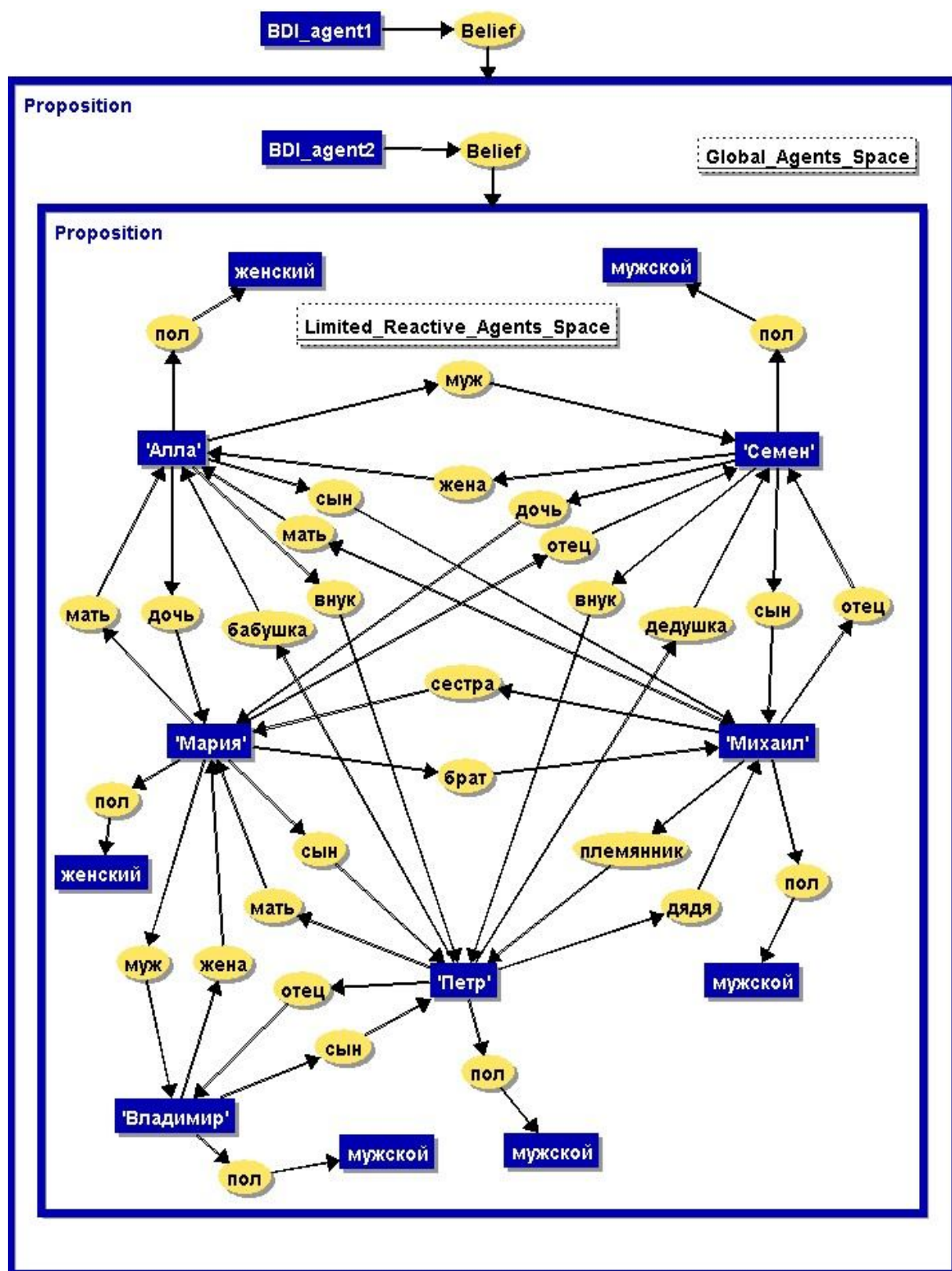


Рис. 4. Полное решение: результирующий концептуальный граф и найденные отношения для всех членов семейства *H*

Fig. 4. Complete solution: the resulting conceptual graph and the found relationships for all members of the *H* family

запрос к ЭБД и ИБД и ответ – отношение *тесть* выводимо:

? – `свойство_тесть(Y, W, X);`

$Y = \text{'Владимир'}, W = \text{тесть}, X = \text{'Семен'};$

г) отношение *деверь* – брат мужа не выводимо:

правило: `свойство_деверь(Y, деверь, X): – (рогство_муж(Y, муж, Z); рогство_муж1(Y, муж, Z)), рогство_брат1(Z, брат, X);`

запрос к ЭБД и ИБД и ответ *false* – отношение *деверь* не выводимо:

? – `свойство_деверь(Y, W, X);`
`false;`

д) отношение *невестка* – жена сына не выводимо:

правило: `свойство_невестка(Y, невестка, X): – (рогство_муж(X, муж, Z); рогство_муж1(X, муж, Z)), (рогство_сын(Y, сын, Z); рогство_сын1(Y, сын, Z));`

запрос к ЭБД и ИБД и ответ *false* – отношение *невестка* не выводимо:

? – `свойство_невестка(Y, W, X);`
`false.`

По завершении поиска этих отношений-свойств результат передается агенту `BDI_agent1` для последующего анализа и использования. При этом человеко-машинный `BDI_agent1` может обновить свои *убеждения* и *знания*. В общем случае приведенными отношениями родства и свойств список отношений не ограничивается, и его длина зависит от вида заданного концептуального графа, а также *знаний, убеждений, желаний и намерений* когнитивных BDI-агентов.

Выводы

Предложено и проиллюстрировано использование методологии BDI-PRS построения функциональной архитектуры агентно-базированной системы, предназначенной для когнитивного «агента-человека», то есть для инженера по знаниям или системного программиста, и которая отражает его основные действия по подготовке и анализу поручений, передаваемых реактивным агентам, реализующим дедуктивные выводы при пополнении базы знаний. При иллюстрации методологии BDI-PRS использовано представление знаний о предметной области концептуальными графами.

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. 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.

Авторы работы полагают, что ее результаты могут быть распространены и на другие классы мультиагентных интеллектуальных систем на основе использования антропоморфных и нейроморфных эпистемических презумпций когнитивных агентов, таких как, например, *обязательства* (англ. *obligations*), *способность* (англ. *capability*), *решение* (англ. *decision*), *выбор* (англ. *choice*), *заключение* (англ. *commitment*), *согласование* (англ. *coordination*), позиция (англ. *attitude*) – отношение агента к окружающему миру. При программной агентно-ориентированной интерпретации данных презумпций на начальных стадиях проектирования интеллектуальных систем их имена использовать в качестве имен методов-процедур для агентов-объектов, рассматриваемых с позиций агентно-ориентированного или агентно-базированного программирования.

Постановка задачи настоящей работы инспирирована тем, что возможная интеграция существующей Всемирной паутины (World Wide Web) с Семантической паутиной (Semantic

Web) потребует наличия эффективных приемов и средств представления метаданных для работы с отношениями между сущностями¹. Все менее футуристическими становятся реализации идей по интеграции когнитивного Интернета вещей (CIoT – Cognitive Internet of Things) с Интернетом людей (IoP – Internet of People) [31].

Подобная интеграция может стать актуальной и для корпоративных приложений по типу геоинформационных и других систем [32, 33, 34], требующих усиления семантической составляющей модели представления знаний о предметной области. К числу важных задач может относиться и задача определения путем логического вывода недостающих отношений между сущностями (концептами) в семантической сети. Реализация подобной идеи во многом зависит от материализации концепции когнитивных и реактивных интеллектуальных агентов и потребует интеграцию функций браузера и редактора концептуальных графов в рамках одного и того же средства.

Список литературы

1. 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. Т. 28, № 1. С. 100-122. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-1-100-122>.

¹ Semantic Web. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web; Web 3.0 Explained, Plus the History of Web 1.0 and 2.0. Investopedia. Retrieved 2022-10-21. URL: <https://www.investopedia.com/web-20-web-30-5208698>; Semantic Web at W3C. URL: <https://www.w3.org/standards/semanticweb/>. 8 с.

2. 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>.
3. Маклаков А. Г. Общая психология. СПб.: Изд-во «Питер Пресс», 2017. 582 с.
4. Кулагина И. Ю., Коллюцкий В. Н. Психология развития и возрастная психология: полный жизненный цикл развития человека. М.: Академический проект, 2020. 420 с.
5. Психология / под общ. ред. В. Н. Дружинина. СПб.: Издательский дом «Питер», 2009. 652 с.
6. Холодная М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума. СПб.: Питер, 2004. 384 с.
7. Лобанов А.П. Психология интеллекта и когнитивных стилей. Минск: Агентство В. Гревцова, 2008. 296 с.
8. Макаренко С. И., Соловьева О. С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. №4. 24 с. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>.
9. Макаренко С.И. Справочник научных терминов и обозначений. СПб.: Научные технологии, 2019. 254 с.
10. 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>.
11. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic I: Modeling Knowledge and Belief // Philosophy Compass. 2013. Vol. 8, № 9. P. 798–814.
12. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic II: Logics of Information Change // Philosophy Compass. 2013. Vol. 8, № 9. P. 815–833.
13. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2008. 532 p.
14. Wooldridge M. J. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley&Sons, 2009. 484 p.
15. Rao A. S., Georgeff M. P. BDI agents: From theory to practice // V. Lesser and L. Gasser, editors, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'95), 12–14 June. San Francisco, CA., 1995. P. 312–319.
16. Hong Jiang, Vidal J. M., Huhns M. N. EBDI: An Architecture for Emotional Agents, 2007. URL: <http://jmvidal.cse.sc.edu/papers/jiang07a.pdf/> (Free access. Access date: 12.06.2024).

17. Ali Orhan Aydın, Mehmet Ali Orgun. The Reactive-Causal Architecture: Radar Task Simulation // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 2012. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/15/4/5.html>. (Free access. Access date: 12.06.2024).
18. 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).
19. Карамышева Н. С., Зинкин С. А., Митрохин М. А. Методы и модели интеллектуализации вычислительных и киберфизических систем. Пенза: Изд-во ПГУ, 2022. 176 с.
20. Интеллектуальная обработка информации / М. А. Митрохин, Н. С. Карамышева, В. Ю. Егоров, С. А. Зинкин. Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. 320 с.
21. Sardina S. Padgham L. A BDI agent programming language with failure handling, declarative goals, and planning // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2010. P. 1–53.
22. A formal specification of dMARS / M.D’Inverno, D. Kinny, M. Luck, M. Wooldridge // *Intelligent Agents IV Agent Theories, Architectures, and Languages*. 1998. P. 155–176.
23. Pokahr A., Braubach L., Lamersdorf W. Jadex: A BDI reasoning engine // *Multi-Agent Programming*. 2005. P. 149–174.
24. Bordini R., Hübner J., Wooldridge M. Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason. Wiley-Interscience. 2007.
25. Autonomous Decision-Making Software. 2010. URL: <http://www.aosgrp.com.au> [Accessed: May 30, 2024].
26. Grabovskis A., Grundspenkis J. Identification of Relations between BDI Logic and BDI Agents // *Computer Science. Applied Computer Systems. Scientific Journal of Riga Technical University*. 2011. Vol. 44. P. 21-28. DOI: 10.2478/v10143-011-0018-1.
27. Лисанюк Е. Н. Когнитивные характеристики агентов аргументации // *Вестн. СПбГУ*. 2013. Сер. 6. Вып. 1. С. 13–21.
28. Лисанюк Е. Н., Павлова А. М. Логические аспекты многообразия агентов // *Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление*. 2016. Т. 11. № 4. С. 45-60.
29. Залогова Л.А. Формальное описание логического вывода в Прологе // *Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика*. 2014. Вып. 4(27). С. 84–91.
30. 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.
31. From the Internet of Things to the Internet of People / J. Miranda, N. Makitalo, J. Garcia-Alonso, J. Berrocal, T. Mikkonen, C. Canal, J. Murillo // *IEEE Internet Computing*. Vol. 19, no 2. P. 40-47.

32. Hitzler P. A Review of the Semantic Web Field // Communications of the ACM. 2021. Vol. 64, no. 2. P. 76–83. DOI:10.1145/3397512.

33. Unni D. FAIRification of health-related data using semantic web technologies in the Swiss Personalized Health Network // Scientific Data. 2023. Vol. 10, no. 1. DOI:10.1038/s41597-023-02028-y.

34. Zhang Chuanrong, Zhao Tian, Li Weidong. Geospatial Semantic Web. Springer International Publishing: Imprint: Springer, 2015. 189 p. DOI:10.1007/978-3-319-17801-1.

References

1. 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>.

2. Karamysheva N. S., Alexandrov V. S., Kiryutkin A.I., Zinkin S. A. Cognitive peering 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>.

3. Maklakov A. G. General psychology. St. Petersburg: Piter Press; 2017. 582 p. (In Russ.).

4. Kulagina I. Yu., Kolyuckij V. N. Developmental psychology and age psychology: the full life cycle of human development. Moscow: Akademicheskij proekt; 2020. 420 p. (In Russ.).

5. Druzhinin V. N., ed. Psychology. St. Petersburg: Piter; 2009. 652 p. (In Russ.).

6. Kholodnaya M.A. Cognitive styles. On the nature of the individual mind. St. Petersburg: Piter; 2004. 384 p. (In Russ.).

7. Lobanov A.P. Psychology of intelligence and cognitive styles. Minsk: Agentstvo V. Grevtsova; 2008. 296 p. (In Russ.).

8. 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>.

9. Makarenko S.I. Directory of scientific terms and notations. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii; 2019. 254 p. (In Russ.).

10. 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>.

11. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic I: Modeling Knowledge and Belief. *Philosophy Compass*. 2013. 8(9): 798–814.
12. Pacuit E. Dynamic Epistemic Logic II: Logics of Information Change. *Philosophy Compass*. 2013. 8(9): 815–833.
13. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press; 2008. 532 p.
14. Wooldridge M. J. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley&Sons; 2009. 484 p.
15. Rao A. S., Georgeff M. P. BDI agents: From theory to practice. In: *V. Lesser and L. Gasser (eds), Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'95), 12–14 June*. San Francisco, CA.; 1995. P. 312–319.
16. Hong Jiang, Vidal J. M., Huhns M. N. EBDI: An Architecture for Emotional Agents, 2007. Available at: <http://jmvidal.cse.sc.edu/papers/jiang07a.pdf/>.
17. Ali Orhan Aydın, Mehmet Ali Orgun. The Reactive-Causal Architecture: Radar Task Simulation // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2012. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/15/4/5.html>.
18. Panteleev M. G. Logical models of intelligent agents. *SPbGETU «LETI»*, 2022. P. 1–24. (In Russ.). Available at: https://vec.etu.ru/moodle/pluginfile.php/303181/mod_resource/content/1/Lecture_3/ (Accessed 12.06.2024).
19. 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.).
20. Mitrohin M. A., Karamysheva N. S., Egorov V. Yu., Zinkin S. A. Intelligent information processing. Penza: Izd-vo PGU; 2023. 320 p. (In Russ.).
21. Sardina S. Padgham L. A BDI agent programming language with failure handling, declarative goals, and planning. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2010. P. 1–53.
22. D’Inverno M., Kinny D., Luck M., Wooldridge M. A formal specification of dMARS. *Intelligent Agents IV Agent Theories, Architectures, and Languages*. 1998. P. 155–176.
23. Pokahr A., Braubach L., Lamersdorf W. Jadex: A BDI reasoning engine. *Multi-Agent Programming*. 2005. P. 149–174.
24. Bordini R., Hübner J., Wooldridge M. Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason. Wiley-Interscience. 2007.
25. Autonomous Decision-Making Software. <http://www.aosgrp.com.au>, 2010. Available: <http://www.aosgrp.com.au> (Accessed 30 May 2024).
26. Grabovskis A., Grundspenkis J. Identification of Relations between BDI Logic and BDI Agents. *Computer Science. Applied Computer Systems. Scientific Journal of Riga Technical University*. 2011. (44): 21–28. DOI: 10.2478/v10143-011-0018-1.

27. Lisanyuk E. N. Cognitive characteristics of agents of argumentation. *Vestnik SPbGU. Ser. 6. Vyp. 1. = Bulletin St. Petersburg State University*. 2013; 6 (1): 13–21 (In Russ.).
28. 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.).
29. Zalogova L.A. Formal Description of Logical Inference in Prolog. *Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika = Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer science*. 2014; 4: 84–91 (In Russ.).
30. Tyurin S. F., Gorodilov A. Yu. Features of logical inference in Prolog programs. *Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika = Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer science*. 2019; 3: 91–97. (In Russ.). DOI: 10.17072/1993-0550-2019-3-91-97.
31. Miranda J., Makitalo N., Garcia-Alonso J., Berrocal J., Mikkonen T., Canal C., Murillo J. From the Internet of Things to the Internet of People. *IEEE Internet Computing*. 19(2): 40–47.
32. Hitzler P. A Review of the Semantic Web Field. *Communications of the ACM*. 2021; 64(2):76–83. DOI:10.1145/3397512.
33. Unni D. FAIRification of health-related data using semantic web technologies in the Swiss Personalized Health Network. *Scientific Data*. 2023; 10(1). DOI:10.1038/s41597-023-02028-y.
34. Zhang Chuanrong, Zhao Tian, Li Weidong. Geospatial Semantic Web. Springer International Publishing: Imprint: Springer; 2015. 189 p. DOI:10.1007/978-3-319-17801-1.

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