

Киселёв Глеб Андреевич

**Разработка методов, моделей и экспериментальных
средств исследования коалиционного поведения
когнитивных агентов**

Специальность: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации
(информационно-вычислительное обеспечение)»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), отдел 71 «Интеллектуальные динамические системы и когнитивные исследования».

Научный руководитель:

Дивеев Асхат Ибрагимович

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН (г. Москва)

Официальные оппоненты:

Рыбина Галина Валентиновна

Доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного учреждения "Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»" (НИЯУ МИФИ) (г. Москва)

Карпов Валерий Эдуардович

Кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения "Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»" (НИЦ «Курчатовский институт») (г. Москва)

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)». (г. Москва)

Защита состоится «_____» 2020 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 002.073.04 на базе ФИЦ ИУ РАН по адресу: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 9 (конференц-зал, 1 этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИЦ ИУ РАН по адресу: Москва, ул. Вавилова, д. 40 и на официальном сайте ФИЦ ИУ РАН: <https://www.frccsc.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба высылать по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ФИЦ ИУ РАН, диссертационный совет Д 002.073.04.

Автореферат разослан «_____» 2020 г.

Телефон для справок: +7(906)7993329

Учёный секретарь диссертационного совета Д 002.073.04,

доктор технических наук, профессор

В.Н. Крутько

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Способность синтезировать комплексный план поведения является важной задачей при построении системы управления автономным интеллектуальным агентом, который действует в виртуальной или реальной среде. Целенаправленная деятельность агента базируется на синтезированном плане и является продуктом цикла принятия решений, который требует учета механизмов восприятия и анализа окружающей среды, целеполагания, фокусировки внимания и обучения. Рассмотрение сложных сред и взаимодействие агента с различными объектами в условиях непредсказуемой динамики требуют учета в процессе синтеза управления агентом возможности как иерархической формулировки задачи, так и классических для искусственного интеллекта описания терминальных состояний. Процесс синтеза управления агентом на основе плана осуществляется на этапе предварительной подготовки агента и происходит до реального взаимодействия агента и среды. Тем не менее, для сокращения времени на синтез управления осуществляется применение механизмов ускорения составления плана, его анализа и корректировки по результатам выполнения действий. Предложенный в диссертации подход решает задачу ускорения составления плана с помощью множественного использования прецедентных знаний о возможных способах достижения целей.

В последнее время становится актуальной задача повышения автономности робототехнических устройств и их групп. Для этого требуется соответствующая адаптации имеющихся оптимальных алгоритмов к условиям реальной среды. Адаптация позволяет выходить за рамки симуляционных экспериментов, но требует дополнительных знаний, используемых агентом. Для синтеза целенаправленной деятельности в группе агент должен иметь представление о сенсорной составляющей описания рассматриваемого объекта, знания о его использовании группой агентов, иметь сценарий будущих действий и возможность уточнения этого сценария для рассматриваемой ситуации. Для представления знаний агента в настоящей работе используется оригинальный знаковый подход, в рамках которого все вышеописанные виды знаний инкапсулированы в единую психологически и биологически правдоподобную структуру. Психологическое и биологическое правдоподобие рассматриваемой модели позволяет адаптировать механизмы восприятия и анализа окружающей среды человеком для робототехнической платформы и построить

систему реакций на внешние факторы. Анализ и оптимизация этой системы является комплексной задачей и рассматривается в настоящей диссертации.

Для формирования психологически правдоподобного представления знаний агента об условиях взаимодействия в реальной среде было разработано знаковое представление пространственной логики Д.А. Поспелова. Пространственные логики позволяют конструировать представление знаний, с помощью которого удается учитывать местоположение агента и объектов, рассчитывать траекторию до них по имеющейся карте местности, планировать и оптимизировать деятельность, исходя из знаний об условиях, в которых действует агент. Также, знаковое представление псевдофизической логики позволяет формировать систематизированное описание имеющихся знаний агента на языке, схожем с естественным.

Решаемые современными когнитивными архитектурами комплексные задачи требуют наличия групп или коалиции агентов, деятельность которых взаимосвязана. В работе были использованы современные механизмы создания рефлексивного представления знаний агента в коллективе, основывающиеся на исследованиях А. Н. Леонтьева, А. Фодора, Д.Н. Узнадзе, А. Г. Асмолова, Э. А. Вачнадзе, В. О. Корепанова, Д. А. Новикова. Для описания деятельности агента в условиях реальной среды, его представление было дополнено биологически правдоподобной моделью внимания, которая основана на исследованиях об анализе информации на основе саккадических движений глаз человека. Использование модели внимания является актуальной задачей для повышения автономности когнитивной архитектуры и частично реализовано в когнитивных архитектурах Lida, Clarion, Carina, но имеющиеся реализации не предоставляли возможность описывать пространственные отношения между агентом и окружающими его сущностями.

Рефлексивное восприятие состояния когнитивного агента и состояния агентов в коалиции позволило создать протокол коммуникаций, согласующиеся с современными исследованиями по наличию личностной информации агента, которая не может быть передана другим участникам группы. Система взаимодействий агентов основана на использовании прецедентных абстрактных знаний относительно возможностей других агентов коалиции, получаемых на основе анализа успешности выполнения плана агентами группы. Рассматриваемая система позволила создать оригинальный способ динамического распределения ролей агентов и построить современный гибридный подход выбора субоптимального многоагентного плана поведения.

Предмет исследования – методы планирования поведения робототехнического агента с учетом неопределенности и динамики внешней среды и наличия других участников группового поведения.

Целью исследования является разработка методов, алгоритмов и экспериментальных средств иерархического психологически правдоподобного планирования поведения в коллективе агентов с накоплением базы прецедентов выполнения планов во внешней среде.

Поставленные задачи:

1. Исследовать психологически и биологически правдоподобные способы иерархического представления пространственных знаний интеллектуальных агентов.
2. Разработать иерархический алгоритм планирования поведения агента с использованием представления знаний, поддерживающего работу в группе агентов (знаковой картины мира).
3. Разработать алгоритм планирования поведения когнитивного агента, учитывающий пространственную составляющую знаний.
4. Исследовать протоколы коммуникаций агентов в многоагентных системах и разработать психологически правдоподобный многоагентный алгоритм планирования поведения.
5. Построить робототехническую реализацию предложенных алгоритмов и моделей с целью реализации возможностей осуществления целенаправленной деятельности робототехнического агента.

Научная новизна и положения, выносимые на защиту

1. Впервые разработана и адаптирована для робототехнических устройств психологически правдоподобная модель рефлексивного представления знаний агента.
2. Интегрирована псевдофизическая логика представления окружающего пространства в алгоритм планирования поведения агента.
3. Разработаны основные принципы иерархического представления фокуса внимания агента.
4. Разработана модель динамического назначений ролей на основе рефлексивного представления знаний в коалиции когнитивных агентов.

5. Предложена экспериментальная программная реализация системы управления робототехнической платформой на базе знакового способа представления знаний.

Теоретическая и практическая значимость

Применение описанных в диссертации комплексных подходов позволяет создавать иерархические системы управления робототехническими платформами, повышает их автономность и расширяет список возможных решаемых задач. Экспериментальная программная среда по работе с когнитивными агентами со знаковой картиной мира предоставляет возможность создания механизмов проверки биологически и психологически правдоподобных гипотез группового поведения.

Методы исследования

Теоретические результаты работы получены с использованием методов системного анализа, теории графов, теории алгоритмов, методов планирования поведения.

Достоверность результатов подтверждена результатами вычислительных экспериментов.

Апробация результатов исследования

Основные результаты докладывались на: Всероссийской научной конференции молодых учёных с международным участием (Тверь, 2016 г); Четвартом Всероссийском научно-практическом семинаре «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (Казань, 2017 г.); IV Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные системы, управление и мехатроника» (Севастополь, 2018 г); Национальной конференции по искусственному интеллекту (Вороново, 2018 г. ; Ульяновск, 2019 г.); XII мультиконференции по проблемам управления (Геленджик, 2019 г.); 2-5 Международных конференциях по интерактивной колаборативной робототехнике (Хэт菲尔д, 2017; Лейпциг, 2018; Стамбул, 2019; Санкт-Петербург, 2020 гг.).

Публикации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 12 печатных работах [1-12], 2 из которых изданы в рецензируемых журналах из списка ВАК [1-2], 9 – в материалах всероссийских и международных конференций [3-11].

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложения. Полный объём диссертации составляет 117 страниц с 20 рисунками. Список литературы содержит 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **введении** обоснована актуальность темы диссертации, описаны предмет и цель исследования, поставлены основные задачи диссертации. Приведена схема представленной когнитивной архитектуры. Рассмотрены основные тезисы научной новизны работы и её практическая значимость. Приведены данные по использованным методам исследования, достоверности результатов, описана апробация работы. Также, приведены данные об объеме и структуре диссертации.

В первой главе рассмотрены психологические и нейрофизиологические предпосылки синтеза плана поведения, разобраны особенности использования поведенческого планировщика в современных когнитивных архитектурах и приведены основные особенности синтеза коалиционного плана поведения. Представлено знаковое опосредование псевдофизической логики Д.А. Поспелова, разобран психологически правдоподобный способ формирования рефлексивного представления когнитивного агента. Представлен авторский способ представления рефлексивных знаний агента о своих возможностях и возможностях других агентов коалиции с помощью знаков «Я» и «Они» (см. рис. 1).

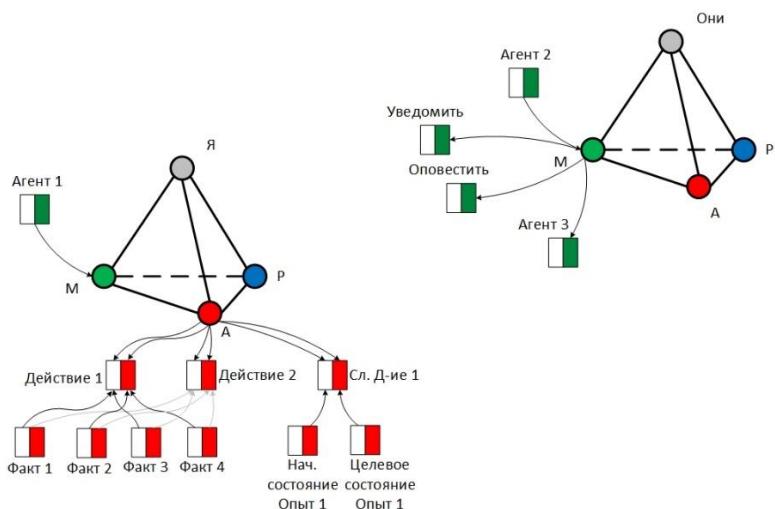


Рис. 1. Знаки «Я» и «Они».

Рассмотренное в диссертации семиотическое описание как внутреннего представления внешней среды, так собственных действий агента основано на

психологически правдоподобном знаковом представлении знаний. Описание представления знаний у человека приведено в работах А. Н. Леонтьева, исходя из которых, знания об явлении являются производной четырех основных типов данных - образом явления, значением явления, смыслом явления для субъекта деятельности и именем явления. Каждый тип данных соответствует одноименной компоненте знака, и вышеописанную последовательность можно представить в виде кортежа компонент $\langle p, m, a, n \rangle$ соответственно.

Образ явления представлен результатом работы субъекта деятельности по распознаванию явления и систематизированному описанию его составляющих. Примером образной компоненты знака в робототехнике служит описание внешнего вида окружающих объектов, распознанных роботом посредством работы алгоритмов SLAM (одновременная локализация и построение карты), а также объединение описаний этих объектов в представление текущего фокуса внимания. Значение явления представляется общепринятым в коллективе агентов в рамках культурно-исторического подхода описанием явления. Общепринятое описание предоставляет возможность коллективу агентов одинаково воспринимать информацию о возможном использовании явления. Примером такого использования значений в робототехнике служит передача задачи или сценария деятельности другому агенту и единообразное восприятие их. Смыслы явления синтезируются в процессе взаимодействия субъекта деятельности с явлением и являются конкретизацией значений явления. Примером синтеза смысла явления в робототехнике является конкретизация сценария деятельности агента относительно объекта в его фокусе внимания. Этот вид конкретизации предусматривает уточнение общей информации касательно класса таких объектов информацией по конкретному объекту и вырабатыванием сценария деятельности. Компонента имени выполняет функцию связывания компонент знака в единую структуру и позволяет составлять сообщения в рамках протокола коммуникации агентов.

Компоненты знака представлены специальной структурой – каузальной матрицей [14], которая является структурированным набором ссылок на другие знаки, элементарные признаки и реактивные действия. Все элементы каузальной матрицы связаны со структурой представленного знаком явления. В качестве примера каузальной матрицы рассмотрим матрицу на сети образов робота, описывающую автомобиль (рис. 2). В столбце 1 приведена ссылка на результат процесса распознавания роботом переднего бампера автомобиля, в столбце 2 ссылка на результат процесса распознавания передних колес, далее задних колес в столбце 3 и зеркала в столбце 4.



$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{Передний бампер} \\ \text{Переднее колесо} \\ \text{Заднее колесо} \\ \text{Зеркало} \end{array}$$

Рисунок 2. Пример каузальной матрицы.

В простейшем случае, каузальную матрицу можно описать кортежем $z = \langle e_1, e_2, \dots, e_t \rangle$ длины t событий e_i . Каждое из событий e_i на сети образов описывает результат распознавания элемента в момент времени t_i или ссылку на его элементарный признак, на сетях значений и смыслов ссылку на другой знак или реактивное действие. Например, действие по поднятию блока на сети смыслов абстрактного стационарного робота, имеющего манипулятор с 4 степенями свободы, будет иметь на сети смыслов ссылку на список под действий по изменению состояния всех 4 сервоприводов и функцию их реализации. Если рассматривать робота с другим манипулятором, то вышеописанное действие будет иметь иную реализацию на сети личностных смыслов, но оба робота будут иметь одинаковую структуру матрицы на сети значений, что позволит им действовать кооперативно. В рамках реализации описания объектов внешней среды и состояния агента с использованием каузальной структуры компонент знака были использованы матрицы двух видов – объектные и процедурные. Объектная матрица отличается от процедурной отсутствием эффектов активации матрицы и служит для описания статического состояния системы, а процедурные матрицы используются для описания существующих в представлении агента процессов.

Описанная выше структура компонент знака позволяет связывать компоненты и формировать сематические сети W_p, W_m, W_a . Элементы сетей имеют соответствующие типы отношений, выраженные на сети p отношением часть-целое, на сети m – объект-роль, а на сети a – коалиция-участник коалиции. Между узлами каждой сети установлено взаимно-однозначное соответствие, которое описывается функциями связывания по сетям в рамках одного знака: $\psi_p^m, \psi_m^a, \psi_a^p$ и обратными им функциями. Функции связывания ставят в соответствие каузальной матрице каждой сети соответствующую матрицу из другой сети, либо генерируют её по требованию при отсутствии.

На каждой семантической сети $W_x \in \{W_p, W_m, W_a\}$ существует соответствующая итерационная функция распространения активности вверх $\varphi_x \uparrow$ и вниз $\varphi_x \downarrow$, которые позволяет активировать требуемые множества каузальных матриц на заданную глубину. Глубина распространения активности может быть задана пользователем или получена циклом рассуждений в рамках конкретной задачи. Примером реализации процессов распространения активности в алгоритме планирования служит процесс активации матриц на сети смыслов, входящих в описание отношения «блок а, на блоке б». При использовании функции $\varphi_a \downarrow$ на один шаг активируются матрицы знаков «блок а» и «блок б», а при использовании функции $\varphi_a \uparrow$ на один шаг, в простейшем случае, активируются матрицы знаков всех действий, в описание которых входит это отношение.

В большинстве случаев, объекты и процессы описываются трехмерными каузальными матрицами, каждый слой которых представляет либо уникальный прецедент распознавания, либо реактивную процедуру выполнения действия. Кортеж из 5 элементов $\langle W_p, W_m, W_a, R^n, \Theta \rangle$ называют картиной мира когнитивного агента, где $R^n = \langle R^m, R^a, R^p \rangle$ - отношения на компонентах знака, а Θ – операции на множестве знаков. Отношения на компонентах знака позволяют реализовать процессы распространения активности, описанные выше.

Во второй главе представлены основные особенности алгоритма планирования поведения (см. рис. 3), в число которых входит синтез иерархического, прецедентного, пространственного и коалиционного планов. Автором диссертации были усовершенствованы алгоритмы распознавания, означивания, планирования и сохранения опыта классического планирования и реализованы остальные представленные алгоритмы. На момент начала диссертационной деятельности, классический алгоритм планирования использовал большинство знаковых процедур и был способен распознавать и означивать базовые задачи домена «Мир блоков». Автором был введен субъектный способ представления знаний агентом, усовершенствован алгоритм пополнения знаний, с помощью реализации возможности пополнять имеющиеся прецедентные знания интерпретацией данных новых задач. Были обновлены механизмы означивания предикатов задачи, возможных действий и ограничений. Расширение механизмов означивания позволило интерпретировать большее количество типов задач и ограничить перебор возможных действий агента, с помощью процедуры предзаполнения матриц действий ссылками на знаки уточненных ролей объектов. Также, автором было переработана

структурой представления ситуаций планирования и был осуществлен перенос ситуаций на сеть образов.

Классический алгоритм планирования был дополнен функциями предактивации возможных прецедентных действий, что позволило снизить сложность алгоритма в n раз, где n – количество знаков в картине мира агента на каждом шаге планировщика. Были разработаны алгоритмы распознавания и означивания иерархических задач, а классический планировщик дополнен функционалом поиска доступных иерархических планов. Функционал структурных методов синтеза следующей ситуации на каждом из рекурсивных шагов планировщика был расширен и представлен в ООП виде.

Автором были внесены незначительные изменения в алгоритм сохранения классического плана поведения, в число которых входит ООП представление задачи планирования и реструктуризация механизмов оптимизации картины мира агента. Также была создана библиотека map-core и произошло разделение знакового функционала и алгоритма планирования, как одной из возможных функций агента с ЗКМ.

Были разработаны описанные в главе алгоритмы многоагентного распознавания и означивания задачи, дополнена структура поиска возможных планов поведения в многоагентной постановке. Усовершенствован алгоритм сохранения опыта в многоагентном случае с помощью выявления и сохранения подпланов. Разработан алгоритм пространственного означивания, планирования и сохранения опыта. Алгоритмы были представлены в виде библиотек map-multi и map-spatial. Также, были разработаны робототехнические решения, описание которых присутствует в главе 4. Функционал взаимодействия алгоритмов планирования семейства MAP представлен на рисунке 3.

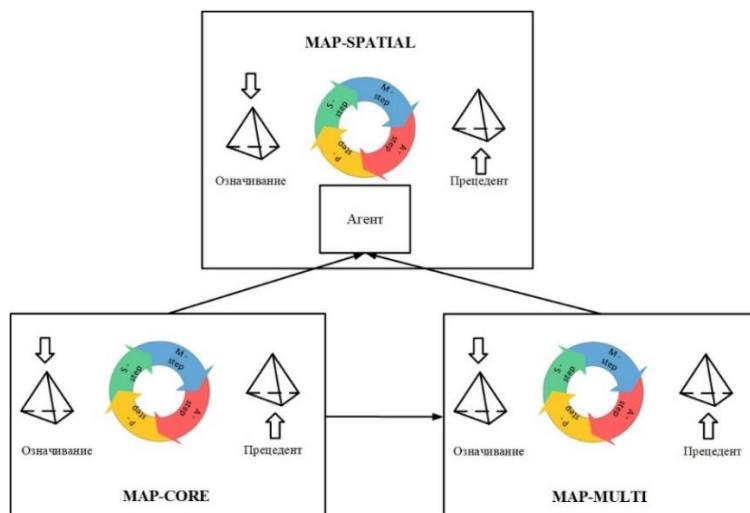


Рисунок 3. Схема взаимодействия алгоритмов семейства MAP.

Синтез плана поведения осуществляется итерационной процедурой синтеза и актуализации следующей ситуации, а также проверкой на активацию матриц знаков, ссылки на которые формируют описание целевой ситуации. На начальном этапе актуализируются все прецеденты планирования, после этого агент совершает 4 шага – S, M, A, P. Также, как и алгоритм означивания, синтез плана осуществляется как для иерархической постановки задачи, так и для классической. Для иерархической задачи агент находит уточнение каждого из абстрактных действий последовательно, согласно правилам очередности задач, представленном в описании задачи планирования. Основным отличием синтеза иерархического плана является наличие дополнительного ограничения на выбор действий при уточнении каждой из абстрактных задач. Например, для задачи доставки объектов ограничения будут регламентировать деятельность агента только с целевыми объектами, уменьшая комбинаторную сложность шага выбора следующего действия. Алгоритм планирования может синтезировать план как от начальной ситуации к целевой, так и от целевой к начальной, посредством поиска действий, эффекты которых привели к активации целевой ситуации.

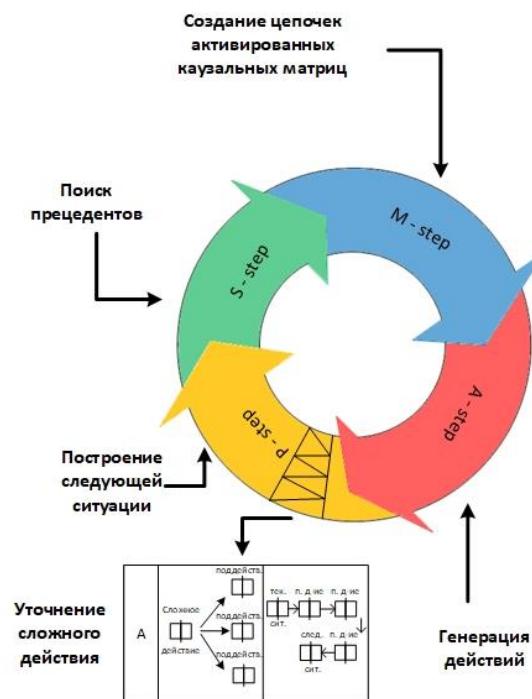


Рис. 4. Алгоритм планирования поведения.

Для пространственного планирования приводится алгоритм создания фокуса внимания и описания карты местности (см. рис. 5). Также, приводится авторский способ

процедур пространственного уточнения и абстрагирования. Разобраны алгоритмы поиска пространственных подпланов и создания пространственного прецедента.

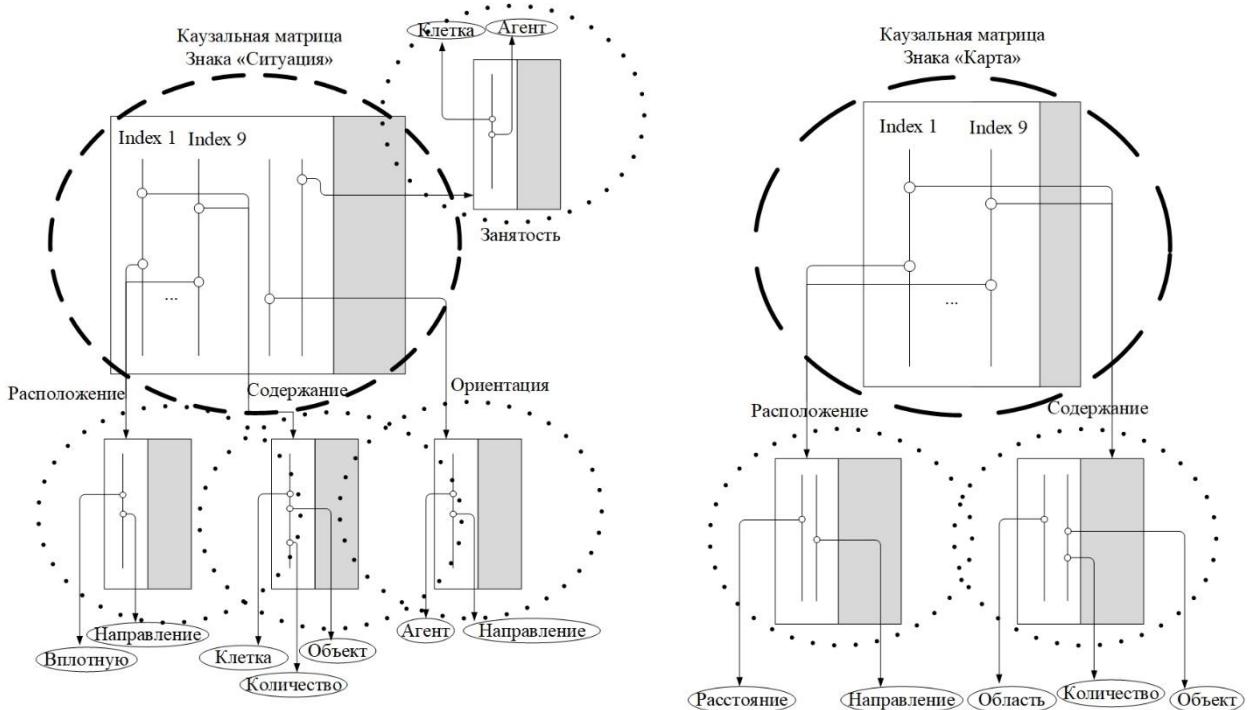


Рис. 5. Матрицы знаков «Ситуация» и «Карта».

В последнем параграфе главы разобран алгоритм распределения задач между агентами. Приведено описание роли знаков «Оповестить» и «Уведомить».

В третьей главе описаны основные особенности создания библиотек семейства тар. Приведен обзор основных модулей библиотек и диаграммы классов с помощью возможностей языка «UML». Представлено описание классов семиотической сети, базовой библиотеки планирования (библиотека *tar-core*), а также библиотек *tar-multi* и *tar-spatial* (см. рис. 6), реализующих расширение функционала алгоритма синтеза плана, посредством реализации пространственного и многоагентного планирования.

Приведена реализация алгоритмов обучения с подкреплением, позволяющих синтезировать элементарные действия для проверки поведения интеллектуального агента. Для этого были разработаны программные среды «Мир Блоков» и «Манипулятор», а также реализован функционал интерпретации шагов планировщика для вышеуказанных сред.

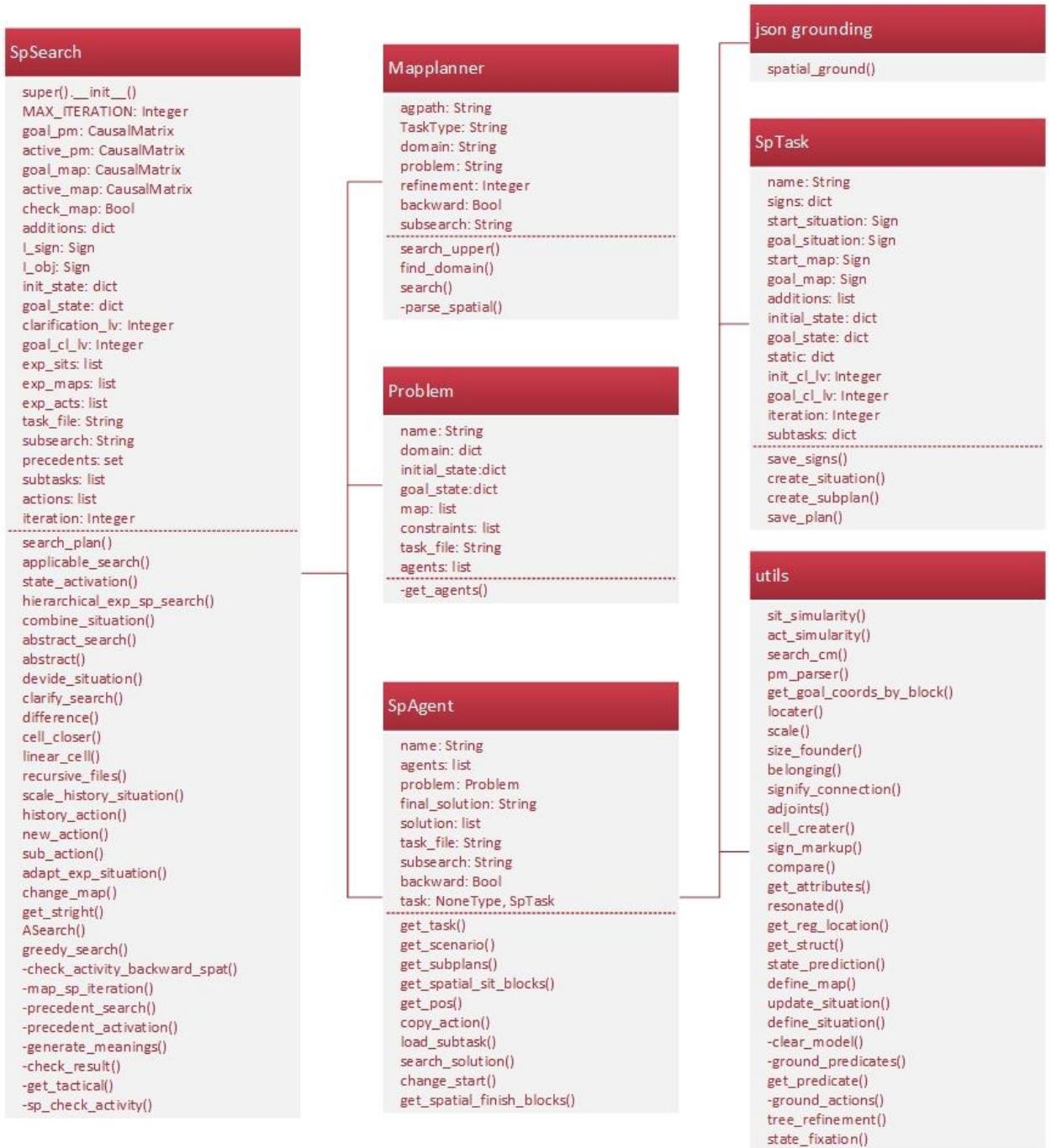


Рисунок 6. Диаграмма классов основных библиотеки map-spatial.

При инициализации новой задачи, агент получает информацию о положении манипулятора и целевого объекта среды в 3D пространстве. Далее, агент ищет возможные действия на основе функции вознаграждения `tolerance` (`x`, `bounds`, `margin`, `value_at_margin`) из DeepMind Control Suite. Эта функция позволяет агенту получать вознаграждение 1 при вхождении расстояния от актуатора робота до требуемого объекта среды в рамки ограничений. Эмпирическим путем была выявлена проблема синтеза действий с функцией `tolerance`, заключающаяся в неоптимальном выборе последовательности элементарных

действий агента, из-за увеличения агентом получаемой награды, с помощью деятельности в пространстве, входящем в ограничения, но не осуществляющей захват целевого объекта.

Все алгоритмы иерархически связаны и выполняют функционал синтеза многоуровневой абстракции представлений плана поведения. В рамках суждений об интерпретируемости полученных и описанных результатов, код библиотек на языке python выложен в общий доступ.

Эксперименты были проведены на ноутбуке с характеристиками: Intel Core i7-8565U CPU 1.8 GHz 199 GHz RAM 16Gb. Оценка результатов проводилась по времени исполнения задачи, количеству шагов планировщика, количеству найденных алгоритмом Q-обучения элементарных действий, количеству элементарных действий манипулятора, найденных DQN. Результаты приведены в таблице 1.

	Одиноч ная задача 1	Одиноч ная задача 2	Одиноч ная задача 2	Многоаген тная задача 1	Многоаген тная задача 2	Многоаген тная задача 3
Время (сек)	22.4	112.5	263.4	283.03	526.5	617.5
Шаги планиров щика	6	12	39	11	31	35
Шаги Q- обучения	445	412	640	430	452	608
Шаги DQN	400	900	700	400	900	700

Таблица 1. Результаты экспериментов поиска элементарных действий.

В четвертой главе рассмотрена модульная архитектура робототехнической платформы (см. рис. 7), воплощающей деятельность когнитивного агента в условиях реальной среды. Приведено взаимодействие модуля планирования поведения и модулей управления двигателями, а также пополнение знаний с помощью модулей обработки сенсорных данных робототехнической платформы. Представлено описание протокола робототехнической коммуникации в условиях решения комплексных задач коалицией агентов.

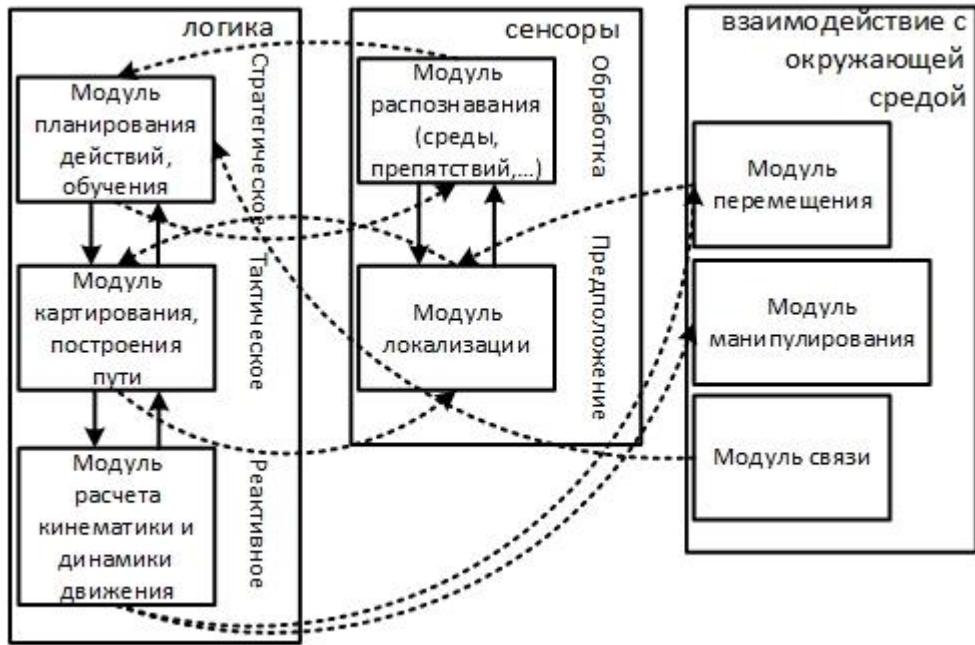


Рис. 7. Модульная архитектура робототехнического агента.

Рассмотренная в главе архитектура создана на основе робототехнической системы ROS. Эта система позволила выделить каждый из логических модулей в отдельный программный компонент – ROS-пакет, который стандартизирует вызов требуемого модуля и способствует возможности распространения рассматриваемой архитектуры.

Платформа МП-РМ оборудована сервоприводами без обратной связи, также отсутствует возможность отслеживания GPS-сигнала для контроля местоположения платформы. При перемещении по различным типам поверхностей происходило накопление ошибки, которое скомпенсировано с помощью реализации ROS-узла распознавания aruko-меток (тип QR-кодов, используемый в робототехнике). Aruko-метки были закреплены на потолке полигона и реализовали значения точных координат платформы в зашифрованном виде (см. рис. 8). Для их распознавания структура МП-РМ была дополнена дополнительной платой RaspBerry Pi 3 и дополнительной камерой.

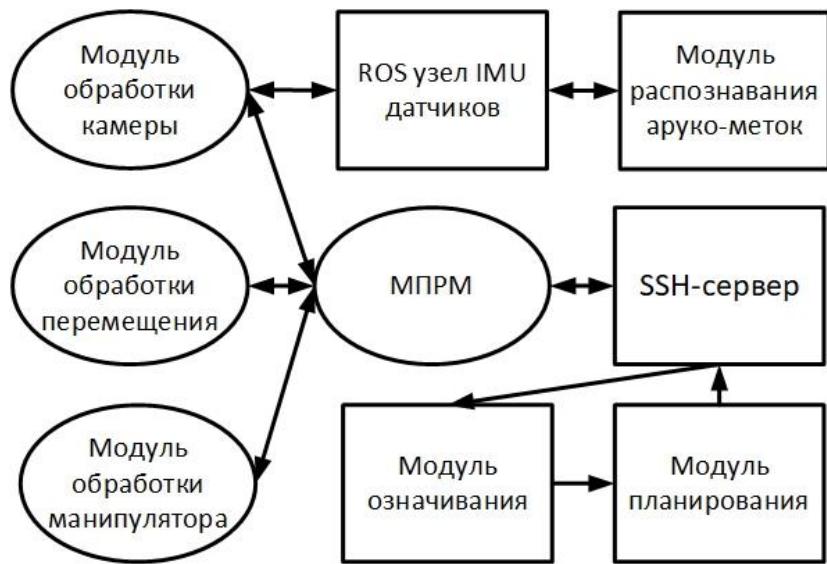


Рисунок 8. Схема робототехнической платформы.

Также были использованы функции распознавания QR-кодов с фронтальной камеры платформы, IMU датчики наклона и поворота. Для установления требуемого формата координат платформы и их взаимосвязи с спланированными, а также для запуска функций перемещения платформы был разработан модуль SSH-сервера.

В приложение включена сравнительная таблица современных когнитивных архитектур (приложение А).

В заключении приводятся основные результаты, полученные в работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработан иерархический алгоритм планирования поведения агента на базе семиотического представления знаний;
 2. Разработан алгоритм планирования поведения когнитивного агента, учитывающий пространственную составляющую знаний;
 3. Исследованы протоколы коммуникаций агентов в многоагентных системах и разработан психологически правдоподобный многоагентный алгоритм планирования поведения;
 4. Разработан экспериментальный прототип программно-аппаратного комплекса системы управления робототехнической платформой, включающий основные предложенные в диссертации алгоритмы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ:

1. Киселёв, Г. А., & Панов, А. И. Знаковый подход к задаче распределения ролей в коалиции когнитивных агентов. Труды СПИИРАН, 2018, 2(57), 161-187. <https://doi.org/10.15622/sp.57.7> (Sign-based Approach to the Task of Role Distribution in the Coalition of Cognitive Agent. In; SPIIRAS Proceedings pp. 161-187).
2. Киселев, Г. А. (2020). Интеллектуальная система планирования поведения коалиции робототехнических агентов с STRL архитектурой. Информационные технологии и вычислительные системы. - 2020. – Вып. 2. С. 21–37. <https://doi.org/10.14357/20718632200203>

Публикации в трудах профильных международных конференций:

3. Kiselev G.A., Panov A.I. Synthesis of the Behavior Plan for Group of Robots with Sign Based World Model. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2017. Lecture Notes in Computer Science, (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer, Cham, 2017, pp. 83-94. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66471-2_10
4. Autyugulov, A., Kiselev, G., & Panov, A. I. Task and Spatial Planning by the Cognitive Agent with Human-like Knowledge Representation. Interactive Collaborative Robotics, ICR 2018. Lecture Notes in Computer Science, (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer, Cham, 2018, pp. 1-12. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99582-3_1
5. Kiselev G., Panov A. Hierarchical Psychologically Inspired Planning for Human-Robot Interaction Tasks. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2019. Lecture Notes in Computer Science, (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Springer, Cham, 2019, pp. 150-160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26118-4_15
6. Kiselev G., Panov A. Q-Learning of Spatial Actions for Hierarchical Planner of Cognitive Agents. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2020. Lecture Notes in Computer Science, (Including Subseries Lecture

Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Springer, Cham 2020, pp. 160-169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60337-3_16

Публикации в трудах профильных российских конференций:

7. Киселев Г. А., Панов А. И. STRIPS постановка задачи планирования поведения в знаковой картине мира // Информатика, управление и системный анализ: Труды IV Всероссийской научной конференции молодых учёных с международным участием. Т. I. — Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. — С. 131—138.
8. Киселёв Г.А., Панов А.И. Планирование действий коалицией агентов: коммуникационный аспект// Четвертый Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2017, 5-6 октября 2017 г., г. Казань, Республика Татарстан, Россия): тр. семинара. / под ред. Е.А. Магида, В.Е. Павловского, К.С. Яковлева – Казань: Центр инновационных технологий, 2017. – 240 с. С. 204-215.
9. Киселев, Г. А., & Панов, А. И. Семиотическое представление пространственных отношений для задачи интеллектуального перемещения. IV Всероссийская научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы, управление и мехатроника». Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 29-31 мая 2018 г., С. 91–97. Retrieved from <https://elibrary.ru/item.asp?id=35263035>
10. Kiselev G., Kovalev A., Panov A.I. (2018) Spatial Reasoning and Planning in Sign-Based World Model. In: Kuznetsov S., Osipov G., Stefanuk V. (eds) Artificial Intelligence. RAI 2018. Communications in Computer and Information Science, vol 934. Springer, Cham, 2018, pp.1-10. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00617-4>
11. Андрейчук А.А., Киселев Г.А., Яковлев К.С. Интеграция методов планирования поведения и планирования траектории // Семнадцатая Национальная конференция по искусенному интеллекту с международным участием. КИИ-2019 (21–25 октября 2019 г., г. Ульяновск, Россия). Сборник научных трудов. В 2 т. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – Т.1. – 2019. – 258 с. С. 66-74.
12. Киселев Г.А., Андрейчук А.А., Панов А.И., Яковлев К.С. Взаимодействие методов планирования в знаковой картине мира и планирования пути // XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019): Материалы мультиконференции (Дивноморское, Геленджик, 23-28 сентября 2019 г.) в 4 т. Т.1. –

Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019.
– 216 с. С. 80-82. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41445882>

Личный вклад автора в публикации

В [1] предложена алгоритмическая реализация многоагентной составляющей планировщика поведения, введены понятия субъективности представления функционала агентов коалиции. В [2] представлена пространственная и обновлена многоагентная составляющая алгоритмов планирования поведения агентов со знаковой картины мира, также, автором диссертации были разработаны и приведены основные механизмы, реализующие коллективное поведение робототехнических агентов. В статьях [3, 8] были приведены основные особенности многоагентного распределения ролей и аукциона планов, описаны знаки «Я» и «Они», а также представлен протокол коммуникаций агентов со знаковой картиной мира. В работах [4, 6] приведены адаптации алгоритмов обучения с подкреплением для поиска под действий абстрактных действий планировщика, автором диссертации была разработана иерархия синтеза действий и произведена взаимная адаптация алгоритмов. В статьях [5, 7, 9, 10] описан иерархический процесс формирования планов поведения для пространственного и классического случаев планирования. В статьях [11, 12] приведена реализация эвристики пространственного планирования, которая была адаптирована автором диссертации для оптимизации процесса синтеза плана.