

УДК 004.8

MSC 68T40; 68T42

DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79

АВТОНОМНЫЙ СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОНТОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ НЕЙРОКОГНИТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ*

З.В. НАГОЕВ¹, К.Ч. БЖИХАТЛОВ¹, И.А. ПШЕНОКОВА², О.В. НАГОЕВА²,
Б.А. АТАЛИКОВ², Н.А. ЧЕЧЕНОВА¹, Д.А. МАЛЫШЕВ²

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
E-mail: kbncran@mail.ru

² Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а
E-mail: iipru@rambler.ru

В работе сформированы основные принципы автоматического построения онтологий интеллектуальных агентов на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Разработан мультиагентный алгоритм синтеза поведения интеллектуального агента, направленного на автономное формирование недостающих элементов онтологий пространственного расположения объектов. Построен алгоритм формирования таких онтологий с помощью роста и развития набора и связей агентов-нейронов в составе управляющей мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента.

Ключевые слова: искусственный интеллект, робототехника, нейронные сети, когнитивные архитектуры, мультиагентные системы, онтологии.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается рост приложений, ориентированных на массовое использование мобильных роботов в сельском хозяйстве [1, 4, 14, 17, 18, 20, 21]. Однако их широкому внедрению препятствует ключевая проблема – проблема работы в т.н. «условиях реального мира». Она связана с тем, что реальный мир, в котором приходится функционировать таким роботам, – это неопределенная, неструктурированная динамическая стохастическая, частично наблюдаемая, эпизодическая активная среда [2, 19]. В такой среде систематически возникают непредвиденные, сложные или невозможные для разрешения ситуации, в которых роботы не могут эффективно и безопасно выполнять свой целевой функционал.

С целью парирования этих свойств среды мы предлагаем использовать интеллектуальные системы на основе т.н. нейрокогнитивных архитектур – формализма, обладающего мощнейшим потенциалом конструктивного отражения системы «агент – среда» и синтеза интеллектуального поведения. Именно такая когнитивная архитектура должна обеспечить автоматическое пополнение т.н. пространственных онтологий (связанных с пространственными отношениями объектов и их местоположений в наблюдаемой среде) системы принятия решений и управления (интеллектуальный агент) автономного сельскохозяй-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты №№ 18-01-00658, 19-01-00648

ственного робота, необходимых для успешного выполнения целевого функционала в незнакомой обстановке в условиях реальной среды. Выполнение этого функционала, в частности, требует от интеллектуального агента ознакомления с составом и свойствами объектов и их локаций, понимания описания миссии, задаваемой оператором либо графически, либо с использованием естественно-языкового описания.

Автономное пополнение базовых и специальных (пространственных) онтологий, выполняющееся на основе соответствующего развития мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры [8], должно обеспечить корректную работу подсистемы понимания речи, концептуальное обеспечение постановки задач в терминах динамических состояний этой нейрокогнитивной архитектуры и эффективные способы синтеза поведения интеллектуального агента, направленного на решение этих задач, что определяет актуальность темы исследования и применяемого нами подхода.

1. ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОНТОЛОГИЙ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Известно, что проблема построения онтологий в системе интеллектуального принятия решений и управления является одной из ключевых и характеризуется трудностями теоретического характера, связанными с поиском концептуальных оснований и средств формализации онтологического знания и, с другой стороны, существенными прикладными проблемами, связанными с исключительной трудоемкостью построения онтологий и «хрупкостью» построенных на их основе алгоритмов, проявляющихся в исключительно низкой толерантности к изменению базовых онтологизированных сценариев поведения в конкретных предметных областях [16].

По нашему мнению, по аналогии с естественными нейроморфологическими когнитивными архитектурами головного мозга мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры обладают существенным потенциалом преодоления этих проблем за счет перехода к режиму автоматического построения и пополнения онтологий в результате автономного обучения интеллектуального агента при выполнении целевых задач в реальной среде, так же, как это происходит у детей. Для этого необходимо определить средовые условия, связать этого интеллектуального агента со средой, определив способы их взаимного влияния друг на друга, например, через систему сенсоров и эффекторов. Необходимо также задать коммуникативные каналы к операторам – постановщикам миссии, способы оценки постановщиками степени успешности выполнения миссии, определить источники пополнения знаний, которые не могут быть извлечены интеллектуальным агентом непосредственно из взаимодействия со средой [9, 10]. После этого необходимо запустить агента в работу и с помощью интерактивного обучения недостающим знаниям организовать исследовательское поведение агента [15], направленное на автоматическое формирование или достройку необходимых рабочих онтологий на основе алгоритмов самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры [11].

Для того чтобы справиться с таким внушительным набором нетривиальных задач, автономному мобильному роботу требуется не только изощренная система интеллектуального принятия решений и управления, но и достаточно сложная конструкция. В данном исследовании для выполнения экспериментов мы использовали разрабатываемого нами робота F-COMPANION-01 (рис. 1).

Конструкция робота состоит из двухосного шасси с подкатным колесиком, на котором установлен подвижный торс, на нем располагаются шея и голова также с тремя степенями свободы. К торсу крепятся два антропомиметических манипулятора с тросовыми приводами с семью степенями свободы каждый. Манипуляторы снабжены пятипальными схватами, также приводимыми гибкими тросами по схеме приводов-антагонистов. Сенсорная система робота включает в себя две видеокamеры, более ста ультразвуковых и инфракрасных даль-

номеров, небольшой лидар, энкодеры на каждом из двух основных маршевых двигателей, каждого из двух ведущих колес, коммуникационный канал ввода символьной информации с клавиатуры удаленного компьютера, микрофонный вход. Набор сенсоров на руках робота включает в себя экстероцепторы касания, давления, пьезоэлектрические датчики для определения типа поверхности, до которой дотрагивается робот, датчики температуры, на каждой из четырех фаланг каждого из пяти пальцев каждого из схватов (кистей) робота. Помимо энкодеров на маршевых двигателях, к проприоцепторам робота можно отнести также энкодеры во всех степенях свободы торса, шеи робота и манипуляторов, датчики изгиба в каждом шарнире между фалангами пальцев кистей робота.

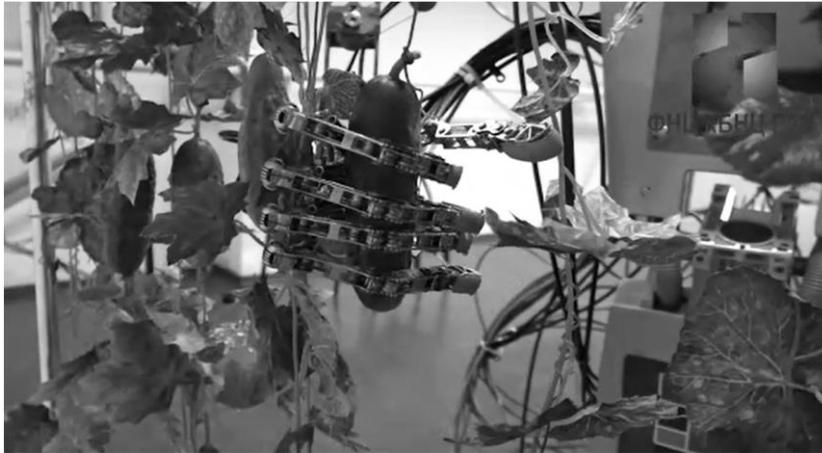


Рис. 1. Антропомиметический манипулятор автономного мобильного сельскохозяйственного робота

К эффекторной подсистеме робота можно отнести два маршевых двигателя, приводы всех степеней свободы торса, шеи (головы), манипуляторов и кистей, коммуникационный канал для вывода сообщений на удаленный дисплей и громкоговорители.

Непосредственное управление роботом осуществляется программным обеспечением интеллектуального агента, установленным на бортовом вычислителе робота. Существует возможность подключения интеллектуального агента к сетям общего пользования с помощью Wi-Fi соединения. Канал внешнего управления организуется поверх сетевого соединения. Основным интерфейсом взаимодействия с роботом является диалоговая подсистема (чат). К чату организуется авторизованное подключение операторов и инженеров по данным, которые используют диалоговую подсистему для интерактивного подключения интеллектуального агента постановки и контроля выполнения миссии, анализа алгоритмов поведения, синтезируемых нейрокогнитивной архитектурой интеллектуального агента.

Автономный мобильный робот используется для сбора урожая огурцов в теплице. В общем случае оператор ставит задачу сельскохозяйственному роботу на подмножестве естественного языка, ограниченном лексикой, применимой для данной предметной области сельскохозяйственного производства. В качестве коммуникационного канала могут использоваться клавиатура, микрофон, дисплей и аудиосистема. Оператор описывает существенные условия задачи, цели и ограничения миссии, используя диалоговую подсистему. Интеллектуальный агент с помощью системы понимания речи интерпретирует естественно-языковое описание миссии, при необходимости задавая уточняющие вопросы.

Функциональная нагрузка ограничена задачами определения и произвольного изменения пространственных местоположений (локаций) объектов в определенных локациях (теплицы, поля, фермы и т.п.). По умолчанию считается, что робот успешно справляется с миссией, если он выполняет необходимые действия по идентификации объектов, их локаций и перемещению этих объектов в заданной локации, при этом не допускает столкновений объектов друг с другом и сам не сталкивается с ними.

Изначально, как уже говорилось, место является для робота незнакомым, он не знает ни его габаритов, ни состава объектов, ни локаций, в которых эти объекты расположены в данном месте. Поэтому для робота миссия делится на два важных функциональных этапа. На первом этапе интеллектуальная система принятия решений и управления (интеллектуальный агент) робота должна понять условие задачи, ее сущность и критерий достижения целевого функционала. Для этого, в частности, интеллектуальный агент должен понять, о каких предметах идет речь в описании миссии, в каких локациях находятся эти объекты, как необходимо изменить эти локации, какие ограничения, в явном виде заданные в описании миссии, необходимо при этом соблюдать.

На втором этапе интеллектуальный агент должен синтезировать способ изменения локации заданного объекта с учетом существенных условий и ограничений, содержащихся в описании миссии и с соблюдением требований здравого смысла. Эти требования, например, могут сводиться к тому, чтобы не допускать столкновений и сохранить целостность всех объектов локации (растения, животные), своей собственной конструкции (тело), конструктивных элементов места (стены, двери, окна, мебель и т.д.). Для достижения непротиворечивости требованиям «здравого смысла» интеллектуальный агент должен обладать достаточно развитой системой онтологий.

Существенная вариативность условий произрастания и операций по возделыванию сельскохозяйственных культур, способов взаимодействия с персоналом затрудняет эффективное использование жестких процедурно ориентированных онтологий. Как следует из самого названия, онтология интеллектуальной системы должна выстраиваться относительно существенных особенностей ее бытия, определяться экзистенциальными основаниями такой системы. Следовательно, в состав онтологии при ее автоматическом формировании должно попадать то и только то, что каким-то образом влияет на степень успешности интеллектуального агента в реализации системы целей, детерминированных этими экзистенциальными основаниями. Все остальное должно отфильтровываться как несущественное.

Таким образом, понятно, что процесс приобретения интеллектуальным агентом знаний при автономном пополнении онтологии должен быть ориентирован на исследование системы «мобильный робот – теплица» в части возможности реализации целевого функционала этого интеллектуального агента. Определив тем или иным образом связь целевого функционала и целевой функции интеллектуального агента, можно формализовать процесс семантически окрашенной разметки входных потоков многомодальных данных и обеспечить таким образом их эффективную фильтрацию. Принципиальное значение имеет внутренняя мотивация интеллектуального агента к приобретению новых знаний, которая делает исследовательское поведение одной из существенных частей целевого функционала. Таким образом, мы не ожидаем от интеллектуального агента, управляющего поведением автономного мобильного робота, моментального разрешения проблемы сбора огурцов в теплице, необходимо, чтобы он сначала приобрел достаточное количество знаний, чтобы понять проблему (онтологизировать ее) и только после этого успешно ее разрешить.

Объектом исследования является автоматическое пополнение онтологий интеллектуального агента, управляющего поведением мобильного сельскохозяйственного робота.

Предметом исследования является изучение возможности применения мультиагентных нейрокогнитивных архитектур в качестве средства представления и автономного развития онтологий интеллектуальных систем принятия решений.

Цель работы – формирование основных принципов автоматического построения онтологий интеллектуальных агентов на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Основная задача исследования – разработка мультиагентного децентрализованного алгоритма синтеза поведения интеллектуального агента, направленного на автономное формирование недостающих элементов пространственных онтологий «по требованию» путем достройки нейрокогнитивных архитектур.

2. АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА ПРИ АВТОНОМНОМ ПОПОЛНЕНИИ ОНТОЛОГИЙ

В [6] предложена вычислительная абстракция нейрокогнитивной архитектуры, представляющей собой набор взаимосвязанных функциональных узлов, которые в свою очередь состоят из наборов специализированных рациональных программных агентов, взаимодействующих друг с другом посредством отправки сообщений с целью максимизации локальных целевых функций энергии. По функциональному сходству с нейронами головного мозга такие агенты называются агентами-нейронами, или агнейронами. Под энергией понимается мера способности агента выполнять активные действия, она определяется в произвольной шкале от нуля до заданного максимального значения, которое агент может накапливать в своем «энергетическом резервуаре». Агенты тратят энергию на поддержание жизнедеятельности, отправку сообщений другим агентам, оплату так называемых «контрактов» с этими агентами. Контракты представляют собой согласованные протоколы (алгоритмы) взаимодействия между агентами, содержательный смысл которых состоит в обмене некоторой производимой одним агентом информации на определенное количество энергии, передаваемое («оплачиваемое») агентом-реципиентом за приобретение (покупку) этой информации. Агенты могут заключать и расторгать такие контракты друг с другом на основе т.н. валентностей – алгоритмических процедур поиска контрагента (партнера) по контракту на основе соответствия последнего заданному типу протокола, что предполагает, в частности, взаимную распознаваемость этими агентами языков, на которых они формулируют сообщения друг для друга, при автоматном (наиболее распространенном) способе формального описания агента [3].

Совместная работа агентов в составе нейрокогнитивной архитектуры ориентирована на синтез пути в графе состояний, обеспечивающего интеллектуальному агенту субоптимальный, по критерию максимизации энергии, сценарий «жизнедеятельности» на временной период в будущем, вплоть до горизонта планирования интеллектуального агента. В этом аспекте возникают также и основания для автоматического пополнения онтологий интеллектуальной системы принятия решений, которые и есть основные функциональные единицы таких семантических отношений. Онтологизация может быть выполнена, в частности, с учетом отношения объектов, событий и ситуаций к построению графа состояний агента, определению текущих целевых и промежуточных состояний, средств и способов синтеза и реализации субоптимального пути.

В общем случае процесс интерактивного обучения интеллектуального агента, основанного на мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре, при подготовке к выполнению миссии типологически сходен с обучением ребенка взрослыми в процессе освоения ребенком некоторой обстановки (места, набора локации объектов). Он состоит из двух основных частей. Сначала интеллектуальный агент с помощью подсистемы распознавания на основе данных от сенсоров различных модальностей, установленных на работе, выполняет идентификацию всех объектов и локаций, в которых они расположены, отдельно выделяя уже знакомые ему и еще пока не знакомые.

В отношении знакомых объектов интеллектуальный агент строит варианты событий с их участием, анализирует степень значимости этих событий для решения задачи максимизации своей целевой функции. Если в результате работы функциональных узлов нейрокогнитивной архитектуры интеллектуальный агент обнаруживает, что событий с высоким приоритетом, требующих немедленной обработки, в текущем контексте не наблюдается, то он приступает к ознакомлению (осознанию) новых, незнакомых ему объектов. Сенсорная система позволяет ему выполнить первичное перцептивное описание объекта в виде наборов так называемых сигнатур, представляющих собой символическое описание входных данных различных модальностей, генерируемых сенсорами с помощью внутренних алгоритмических процедур.

После формирования с помощью этих процедур, реализуемых акторами – сенсорами различных модальностей (видео-, аудио-, инфракрасные, ультразвуковые и т.д.), символные сигнатуры рассылаются в качестве сообщений так называемым концептуальным агнейронам, отвечающим за выполнение функции концептуализации наблюдаемой среды на основе потоков входных данных. Функционально эти агнейроны соответствуют базовым семантическим элементам (понятиям), определяющим в системе внутренних представлений интеллектуального агента о среде конструктивные описания ее существенных частей, их свойств, отношений и свойств этих отношений. Эти понятия структурированы в системе семантических отношений, функционально соответствующей системе категоризации естественного языка в соответствии с разделением слов на части речи. В этом смысле агнейроны-понятия соответствуют концептам в базовом треугольнике Фреге. Они могут вступать в семантические отношения между собой и с так называемыми агнейронами-словами (соответствующими десигнатам базового треугольника Фреге) с помощью механизма заключения контрактов.

В [12, 13] показано, что используя механизм валентностей, можно добиться формирования относительно устойчивых объединений агнейронов-понятий друг с другом, связанных между собой системой таких контрактов, выполнение обязательств по которым приводит к выраженной функциональной динамике обмена информацией между этими агнейронами, которая может быть интерпретирована в качестве мультиагентного алгоритма, динамического построения интерпретации семантики некоторого наблюдаемого интеллектуальным агентом события или обрабатываемого им высказывания на естественном языке.

В состав функциональной системы, образуемой агентами-нейронами, мы включаем т.н. локативные нейроны, которые формируются в нейрокогнитивной архитектуре с целью хранения и представления пространственной информации. Эти агенты-нейроны связываются контрактами с агентами-нейронами, концептуализирующими действия, связанные с констатацией положения объектов в определенных частях пространства или с изменением этих положений. Локативные агенты могут заключать друг с другом контракты, реализующие семантику пространственных отношений, образуя своеобразное «концептуальное поле» таких отношений [12].

Таким образом, каждому распознанному объекту сопоставляется локативный агент, и все локативные агенты связаны друг с другом пространственными отношениями. Следовательно, все объекты также, с одной стороны, становятся связанными семантикой пространственных отношений (опосредованно через соответствующих им локативных агентов), а с другой стороны, сами могут служить ориентирами для определения местоположения новых распознаваемых объектов, так как локативные агенты, создаваемые в когнитивной архитектуре для идентификации местоположения последних, заключают контракты на определение пространственных отношений с локативными агентами, представляющими местоположение первых.

3. АЛГОРИТМ АВТОНОМНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОНТОЛОГИЙ МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО РОБОТА

Процесс автоматической онтологизации системы «интеллектуальный агент – среда» приводит к автоматическому порождению десятков и даже сотен тысяч агнейронов – функциональных элементов двухуровневой мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, поэтому редактирование и отладка алгоритмов работы такой архитектуры практически невозможны без применения мощных средств когнитивной визуализации. Ранее коллективом авторов была разработана автоматизированная среда проектирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур [5, 6, 7]. Данная среда позволяет осуществлять создание, редактирование и обучение таких систем в интерактивном и автономном режимах. Каждый тип агнейронов изображается в «виртуальном мозге» интеллектуального агента

(робота) трехмерной пиктограммой, визуализируются также различные типы связей между агентами и сообщений, которые агенты отправляют друг другу.

Данный инструмент был применен, в частности, для разработки интеллектуальной системы принятия решений и управления исследовательским поведением автономного мобильного робота, в задачу которого входит ознакомление с составом объектов, расположенных в теплице, где выращиваются огурцы (рис. 2). Такое ознакомление выполняется в рамках первого этапа онтологизации, в результате которого интеллектуальный агент должен концептуализировать все значимые для процесса уборки огурцов объекты, их местоположения, а также названия, что важно для постановки миссий с помощью системы понимания высказываний на естественном языке.

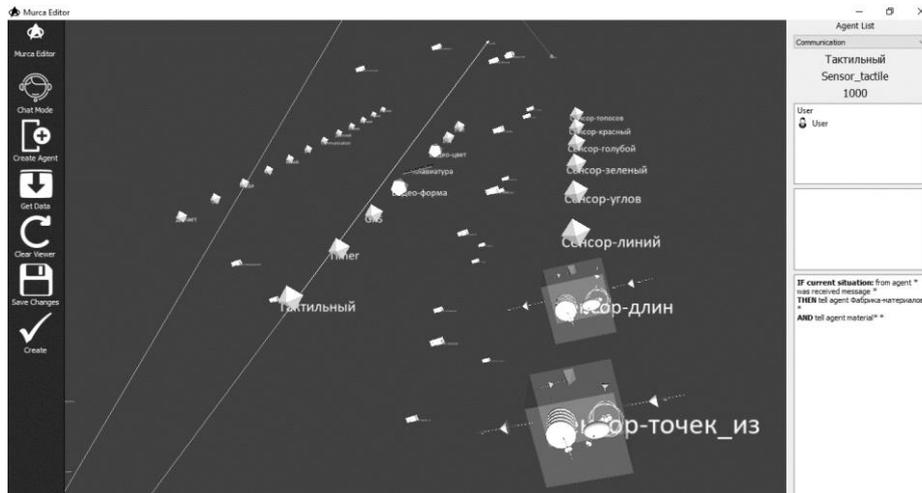


Рис. 2. Акторы и агенты в автоматизированной системе проектирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур

Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура должна предоставлять интеллектуальному агенту возможности для одновременного восприятия и удержания в едином контексте необходимости выполнения данной миссии начального и конечного состояний системы «интеллектуальный агент – среда», переход между которыми и должен быть синтезирован интеллектуальным агентом как план поведения автономного мобильного робота в среде, реализация которого и должна привести к решению задачи. Для этого в инварианте когнитивной архитектуры предусматриваются механизмы, позволяющие обеспечить все части и этапы формирования концептуального отражения начального и конечного состояний ситуаций как вершин в графе состояний интеллектуального агента, синтеза плана поведения как пути в графе состояний, ведущего из начального состояния в конечное, субоптимального по критерию энергии, а также для реализации построенного плана действий.

Успешное выполнение этого плана в общем случае приводит к получению интеллектуальным агентом вознаграждения в виде передаваемой агенту энергии, а невыполнение – соответственно к энергетическим потерям. Поэтому интеллектуальный агент, побуждаемый соответствующей мотивацией, нацелен на формирование соответствующих состояний в графе решений и на решение задачи синтеза искомого пути. При этом он также приобретает мотивацию для разрешения всех проблемных ситуаций, препятствующих ему в выполнении этих процедур. К таковым, в частности, можно отнести обнаружение агентами на основе данных видеонаблюдения объектов, названия которых он не знает.

На рисунке 3 показан процесс синтеза искомого поведения, направленного на достройку отсутствующей валентности (название объекта) – пути в графе состояний системы «интеллектуальный агент – среда» от текущего (построенного в результате интериоризации) условия задачи и анализа наблюдаемого контекста к состоянию в будущем, которое в об-

щем случае должно достаточно точно соотноситься с целью решения задачи, содержащейся в ее естественно-языковом описании, предоставленном оператором. Процедура синтеза состоит в организации процессов построения различных возможных путей (вариантов поведения мобильного робота), формировании, таким образом, пространства альтернатив в графе состояний и выборе лучшей из них с точки зрения целевого критерия максимизации энергии интеллектуального агента.

Процедура синтеза выполняется на основе мультиагентного алгоритма децентрализованно. Агнейрон оценки посылает сообщение актору энергии (крупный треугольник в нижней части рис. 3), который выделяет энергию вознаграждения (маленький треугольник рядом). Соответствующие сообщения передаются целевому агнейрону, который определяет стартовое и конечное состояния в графе состояний и набор действий (изображены стрелками), которые необходимо выполнить, чтобы перевести систему «интеллектуальный агент-среда» в заданное состояние.

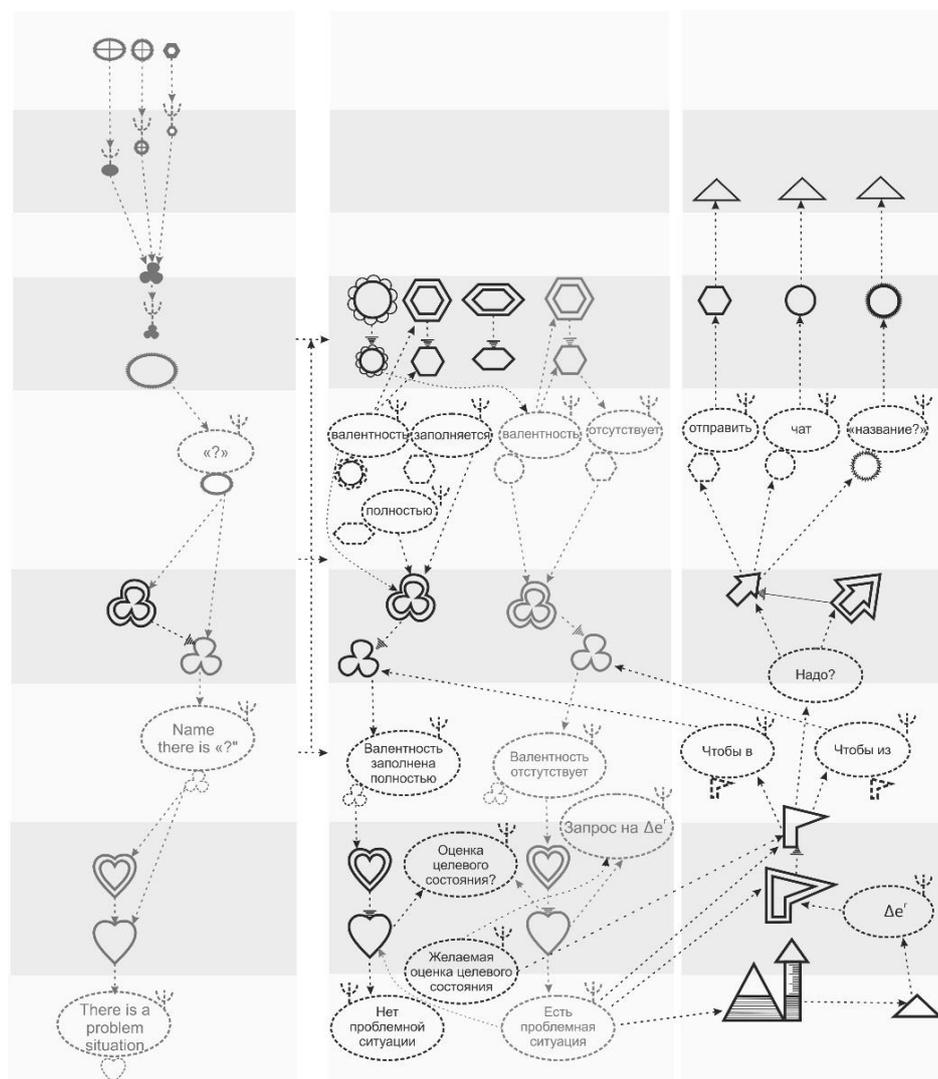


Рис. 3. Алгоритм автономного пополнения онтологии интеллектуального агента на основе развития мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры

Внешним проявлением исследовательского поведения интеллектуального агента, реализуемого в такой ситуации, является последовательность действий мобильного робота, направленных на восполнение недостающей информации, необходимой для полной и достаточно

точной идентификации существенных условий задачи и формирования на этой основе и на основе интериоризации текущей наблюдаемой ситуации в системе «интеллектуальный агент – среда» непротиворечивого контекста ситуаций, определяющего стартовую вершину в графе состояний агента. При этом интеллектуальный агент задает операторам вопросы, стараясь заполнить как можно больше валентностей агнейронов, задействованных во внутреннем описании этой ситуации, представленном функциональной системой понимания данной ситуации. В идеальном случае необходимо заполнить все такие валентности, определяя, таким образом, полное и точное описание ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом того, что в общем случае наличие необходимых онтологий является достаточным условием для решения интеллектуальным агентом задачи синтеза поведения, направленного на решение задачи, поставленной ему оператором путем изменения состояния системы «интеллектуальный агент – среда», организация автоматического пополнения пространственных онтологий за счет автономной работы нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента является основным способом его обучения в задачах ориентации и определения местоположения объектов. В процессе обучения система «интеллектуальный агент – среда» получает дополнительное расширенное представительство в комплексе концептуальных представлений, обеспечиваемых агнейронами мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры на основе наблюдения фрагмента этой системы.

Таким образом, в результате выполнения работы сформированы основные принципы автоматического построения пространственных онтологий интеллектуальных агентов на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Разработан мультиагентный алгоритм синтеза поведения интеллектуального агента, направленного на автономное формирование недостающих элементов пространственной онтологии «по требованию» путем достройки управляющей нейрокогнитивной архитектуры.

REFERENCES

1. Brun T., Poyet P., Bopp M., Vigier F. Towards an agricultural ontology in France: Contributions of the farm Information Management Project (GIEA) // EFITA/WCCA 2005 Joint Conference, Vila Real, Portugal, July 25-28, 2005. Pp. 1296-1302.
2. Hafting T., Fyhn M., Bonnevie T., Moser M.-B., Moser E.I. Hippocampus-independent phase precession in entorhinal grid cells // Nature, Vol. 453, № 7199, 2008. Pp. 1248-1252.
3. Ivanov P.M., Makarevich O.B., Nagoev Z.V. *Situativnyy analiz i sintez intellektual'nogo povedeniya v sistemakh obvolakivayushchey bezopasnosti na osnove avtomatnogo predstavleniya mul'tiagentnykh kognitivnykh arkhitektur* [A situational analysis and synthesis of intellectual behavior in enveloping security systems based on the automatic representation of multi-agent cognitive architectures] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2013. № 4 (54). С. 29-36.
4. Kadeghe G. Fue, Wesley M. Porter, Edward M. Barnes, Glen C. Rains. An Extensive Review of Mobile Agricultural Robotics for Field Operations: Focus on Cotton Harvesting // AgriEngineering. 2020. № 2(1). Pp. 150-174; <https://doi.org/10.3390/agriengineering2010010>.
5. Nagoev Z.V. *Metody prinyatiya resheniy i upravleniya v nestruturovannykh zadachakh na osnove samoorganizuyushchikhsya mul'tiagentnykh rekursivnykh kognitivnykh arkhitektur* [Decision making and in unstructured tasks based on self-organizing multi-agent recursive cognitive architectures]. Thesis for the Dissertation for Degree of Doctor of Technical Sciences. Nalchik, 2013, 304 p.
6. Nagoev Z.V. *Intellectics, or thinking in living and artificial systems*. Nalchik: KBSC RAS Publishing house, 2013. 211 p.

7. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Formal'naya model' semantiki yestestvenno-yazykovykh vyskazyvaniy na osnove mul'tiagentnykh rekursivnykh kognitivnykh arkhitektur* [Formal model of semantics of natural language statements and the process of understanding these statements based on self-organizing cognitive architectures] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2017. №4 (78). P. 19-31.

8. Nagoev Z.V., Gurtueva I.A. *Bazovyye elementy kognitivnoy modeli mekhanizma vospriyatiya rechi na osnove mul'tiagentnogo rekursivnogo intellekta* [The basic elements of a cognitive model of the mechanism of speech perception based on multi-agent recursive intelligence] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2019. № 3 (89). С. 3-14.

9. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Modelirovaniye semantiki slovosochetaniy s atributivnymi prilagatel'nymi na osnove mul'tiagentnoy rekursivnoy kognitivnoy arkhitektury* [Modeling the semantics of collocations with attributive adjectives based on multi-agent recursive cognitive architecture] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2018. № 3(83). С. 11-20.

10. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A. *Mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki prostranstvennoy lokalizatsii sobytiy* [Multiagent neurocognitive models of the semantics of spatial localization of events] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2019. № 2 (88). С. 11-23.

11. Nagoev Z., Pshenokova I., Gurtueva I., Bzhikhatlov K. A simulation model for the cognitive function of static objects recognition based on machine-learning multi-agent architectures // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 948. С. 370-378.

12. Nagoev Z., Nagoeva O., Gurtueva I., Denisenko V. Multi-agent algorithms for building semantic representations of spatial information in a framework of neurocognitive architecture // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 948. С. 379-386.

13. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A., Gurtueva I.A. Multi-agent model of semantics of simple extended sentences describing static scenes // Lecture notes in computer science. Vol. 11659. LNAI. 2019. С. 245-259.

14. Pinet F., Ventadour P., Brun T., Papajorgji P., Roussey C., Vigier F. Using UML for Ontology Construction: a Case Study in Agriculture // Fifth International Conference of the Asian Federation for Information Technology in Agriculture (AFITA). Seventh Agricultural Ontology Service (AOS) Workshop on "Ontology-Based Knowledge Discovery: Using Metadata and Ontologies for Improving Access to Agricultural Information", India Ltd, Bangalore, India, 9-10 November 2006. Pp. 735-739.

15. Solstad T., Boccara C.N., Kropff E., Moser M.-B. and Mose E.I. Representation of geometric borders in the entorhinal cortex // Science. 2008. 322(5909). 1865-1868.

16. Shvaiko P., Euzenat J. Schema and ontology matching. Tutorial. ESWC'05, 2005.

17. Soullignac V., Barnabe F., Rat D., David F. SIGEMO: un système d'information pour la gestion des épandages de matières organiques. Du cahier des charges à l'outil opérationnel. (SIGEMO: computerized system for the management of the spreading of organic products. From functional specifications to the operational tool.) Ingénieries - E A T, METHODO / SYNERGIE. 2006. N 47. Pp. 37-42.

18. Soullignac V., Chanet J.-P., Paris J.L., Devise O., Gondran N. Knowledge management and innovative design, state of the art // 11th International Conference on the Modern Information Technology in the Innovation Processes of the industrial enterprises, Bergamo, Italy. 2009.

19. Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Third Edition. Prentice Hall. 2009. 1109 p. ISBN 0-13-604259-7.

20. Visoli M., Ternes S., Pinet F., Chanet J.P., Miralles A., Bernard S., De Sousa G. Computational architecture of OTAG project // Proceedings of the 7th EFITA Conference, Wageningen, Netherlands, 6-8 July 2009. Pp. 165-172.

21. Visoli M., Ternes S., Chanet J.P., Pinet F., De Sousa G., Miralles A. OTAG information system. Clermont-Fd: Cemagref - Embrapa, 2008. 15 pages.

AUTONOMOUS FORMATION OF SPATIAL ONTOLOGIES IN THE INTELLIGENT DECISION-MAKING SYSTEM OF A MOBILE AGRICULTURAL ROBOT BASED ON THE SELF-ORGANIZATION OF MULTI-AGENT NEUROCOGNITIVE ARCHITECTURES*

Z.V. NAGOEV¹, K.CH. BZHIKHATLOV¹, I.A. PSHENOKOVA², O.V. NAGOEVA²,
B.A. ATALIKOV², N.A. CHECHENOVA¹, D.A. MALYSHEV²

¹ FSBSE «Federal scientific center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360002, KBR, Nalchik, 2, Balkarova street
E-mail: kbncran@mail.ru

² Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
Branch of Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360000, KBR, Nalchik, 37-a, I. Armand St.
E-mail: iipru@rambler.ru

The paper contains the results on autonomous ontologies formation gained with the help of controlling neurocognitive architecture deployed on an autonomous mobile agricultural robot. The basic principles of the automatic construction of ontologies of intelligent agents based on multi-agent neurocognitive architectures are formed. A multi-agent algorithm for synthesizing the behavior of an intelligent agent, aimed at the autonomous formation of the missing spatial ontology elements "on demand" by completing neurocognitive architectures has been developed. An algorithm for building such ontologies with the help of growth and development of a set and connections of agents-neurons in the body of controlling multi-agent neurocognitive architecture of an intelligent agent has been composed.

Keywords: artificial intelligence, robotics, neural networks, cognitive architectures, multiagent systems, ontologies.

Работа поступила 10.12.2020 г.

Сведения об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, к.т.н., председатель Кабардино-Балкарского научного центра РАН.
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: zaliman@mail.ru.

Бжихатлов Кантемир Чамалович, к.ф.-м.н., зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы» Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2.
E-mail: haosit13@mail.ru

Пшенокова Инна Ауесовна, к.ф.-м.н., зав. лабораторией «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: pshenokova_inna@mail.ru

Нагоева Ольга Владимировна, н.с. отдела «Мультиагентные системы» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: nagoeva_o@mail.ru

* This work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grants No.No. 18-01-00658, 19-01-00648

Аталиков Борис Анзорович, стажер-исследователь отдела «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: atalikov10@gmail.com

Чеченова Наталья Аслановна, ст. лаборант лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы» Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: 2139977@bk.ru

Малышев Данил Андреевич, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.

E-mail: mail997@bk.ru

Information about the authors:

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences; Chairman of the “Federal scientific center “Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: zaliman@mail.ru

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Head of the laboratory “Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems”, Federal public budgetary scientific establishment “Federal scientific center “Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”.

360002, KBR, Nalchik, Balkarova street, 2.

E-mail: haosit13@mail.ru

Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Head of laboratory “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: pshenokova_inna@mail.ru

Nagoeva Olga Vladimirovna, Researcher of the Department of the Multiagent systems of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: nagoeva_o@mail.ru

Atalikov Boris Anzorovich, Trainee researcher of the department “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: atalikov10@gmail.com

Chechenova Nataliya Aslanovna, Laboratory assistant of “Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems”, (NAIS) of the KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: 2139977@bk.ru

Malyshev Danil Andreevich, Trainee researcher of the Laboratory “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, I. Armand street, 37-a.

E-mail: mail997@bk.ru