ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.8
DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31
MSC: 68T42

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НЕЙРОКОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУР*

З.В. НАГОЕВ[1], И.А. ПШЕНОКОВА[2], С.А. КАНКУЛОВ[2], Б.А. АТАЛИКОВ[2], А.А. АЙРАН[1]

[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 предложен подход к разработке интеллектуальных систем принятия решений и управления на основе гипотезы об организации нейронной активности головного мозга в процессе выполнения когнитивных функций. Этот подход на основе интеллектуальных программных агентов, обладающих развитой когнитивной архитектурой, способен обеспечить процесс извлечения знаний из неструктурированного потока данных, обобщение полученного знания и обучения для реализации эффективных способов синтеза поведения, направленного на решение различных задач.

Представлена формальная модель мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур. В частности, сформулированы основные принципы ситуативного анализа на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур и разработан алгоритм построения причинно-следственной зависимости между агентами.

Проведенное имитационное моделирование показало, что на основе обучения нейрокогнитивной архитектуры путем формирования новых агентов-нейронов и связей между ними развивается (формируется) сложная логическая функция управления поведением (в частности, ситуативного анализа).

Ключевые слова: мультиагентные системы, нейрокогнитивная архитектура, принятие решений, системы искусственного интеллекта, интеллектуальные агенты.

Поступила в редакцию 20.04.2021

Для цитирования. Нагоев З.В., Пшенокова И.А., Канкулов С.А., Аталиков Б.А., Айран А.А. Формальная модель мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 3 (101). С. 21-31.

1. Введение

Существующие методы моделирования интеллектуальных систем хорошо решают специальные структурированные задачи, однако не обладают гибкостью при решении неструктурированных задач. На наш взгляд, решение этой проблемы состоит в разра-

* Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 19-01-00648 А

ботке интеллектуальной системы на основе гипотезы об организации нейронной активности головного мозга в процессе выполнения когнитивных функций, так как именно человеческий мозг обладает необходимой гибкостью для решения различных неструктурированных задач. Мы предлагаем использовать нейрокогнитивные мультиагентные архитектуры для моделирования таких интеллектуальных систем. Этот подход на основе интеллектуальных программных агентов, обладающих развитой когнитивной архитектурой, способен обеспечить процесс извлечения знаний из неструктурированного потока данных, обобщение полученного знания и обучения для реализации эффективных способов синтеза поведения, направленного на решение различных задач, что определяет актуальность темы исследования [1].

2. Нейроморфофункциональная организация головного мозга

Ситуативный анализ является одной из основных когнитивных функций человеческого мозга. В ходе реализации этой функции задействуются распределенные нейронные сети, включающие в себя множество областей в обоих полушариях головного мозга, и строится модель среды для реализации целенаправленного поведения. Описанию закономерностей, характерных для целенаправленного поведения на основе превентивного моделирования в сложной среде, посвящены работы нейрофизиологов И.М. Сеченова, И.П. Павлова и А.А. Ухтомского [2–4]. Основные аспекты адаптивного поведения в плане построения и использования модели среды показаны в работах П.К. Анохина, И.С. Беритова и Н.А. Бернштейна [5, 6]. Обобщая близкие по смыслу результаты этих исследований, можно выделить наиболее важные аспекты работы мозга при ситуативном анализе: распознавание (афферентный синтез) и идентификация проблемной ситуации (построение в мозге модели среды), эмоциональный механизм оценки, постановка цели и поиск причинно-следственных зависимостей для формирования возможных решений (акцептор действия, формирование действия), оптимальный (вариационный) принцип принятия решения в ситуации выбора. Причем многие авторы (П.К. Анохин, Г.А. Голицын и др.) отводят важную роль в ситуативном анализе эмоциям. Так, например, отмечается, что эмоции играют роль «пеленга», определяя направленность поведения [5].

Нейрофизиологические и клинические исследования показали, что сложные функциональные системы совместно работающих корковых зон мозга обеспечивают процесс интеллектуального принятия решений человеком и поиск оптимального плана управления поведением [7, 8].

Мозг получает информацию из окружающего мира через органы чувств, причем зрительная информация поступает в затылочные доли, слуховая – в височные доли, тактильная и кинестетическая – в теменные доли [9].

Кора головного мозга состоит из шести слоев, каждый из которых содержит определенные нервные клетки [10].

Первый слой – молекулярный, осуществляет горизонтальные и транскортикальные связи, соединяющие соседние участки коры.

Второй и третий слои – наружный зернистый и пирамидальных нейронов, состоит из ассоциационных малых пирамидных или звездчатых клеток, передающих возбуждение с одного нейрона на другой.

Четвертый слой – внутренний зернистый, состоит из рецепторных клеток, принимающих информацию из органов чувств и передающих ее дальше.

Пятый слой – ганглиональный, состоит из двигательных пирамидных клеток.

Шестой слой – мультиморфных клеток, содержит проекцию вегетативных клеток, связывающих кору с глубокими отделами головного мозга.

Переработка информации происходит в первичной, вторичной и третичной зонах коры.

Первичная, или рецепторная, зона занимается анализом поступающей информации. В ней преобладают нейроны четвертого слоя.

Вторичная, или проекционно-ассоциационная, зона синтезирует образы и вторично объединяет информацию. В ней преобладают нейроны пятого слоя.

Третичная зона, или зона перекрытия, отвечает за наиболее сложную переработку получаемой информации. Она связывает сенсорные и двигательные зоны и одновременно служит субстратом высших психических функций. В ней преобладают нейроны второго и третьего слоя [11].

Объектом исследования является нейроморфологическая когнитивная архитектура головного мозга.

Предметом исследования является изучение возможности создания интеллектуальных систем на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур по аналогии с естественными нейроморфологическими когнитивными архитектурами головного мозга.

Цель исследования – формирование основных принципов ситуативного анализа, включающего в себя идентификацию ситуации, ее эмоциональную оценку, а также поиск причинно-следственных зависимостей для формирования возможных решений.

Задача исследования – разработка формальной модели мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур.

3. Мультиагентный поиск оптимального плана поведения ИА

Представленная концепция моделирования интеллектуальных систем основана на изложенной выше нейроморфофункциональной организации головного мозга [12].

Инвариант организационно-функциональной структуры процесса интеллектуального принятия решений на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры состоит из следующих когнитивных функций (блоков): распознавания входных образов, эмоциональной оценки, целеполагания, синтеза плана действий, проактивного моделирования, управления выполнением плана [13]. В [14, 15] описаны алгоритмы построения некоторых когнитивных функций на основе мультиагентной архитектуры. Так как в каждом функциональном блоке располагаются рациональные программные агенты-нейроны нижнего уровня, синтезирующие свое собственное поведение в интересах максимизации собственных локальных целевых функций, вся система допускает рекурсию агентов друг в друга и образует интеллектуального агента (ИА) высшего уровня, управление которым осуществляется мультиагентной нейрокогнитивной архитектурой.

Агенты-нейроны $\aleph_i^j$, где i – имя агента, j – тип агента, для реализации внутренней целевой функции

$$Z = E\left(s_{it_c}^j\right) \underset{a_{it_c}^j}{\longrightarrow} max, \tag{1}$$

направленной на увеличение собственной энергии E, в составе ИА могут взаимодействовать друг с другом посредством передачи сообщений. В (1) $s_{it_c}^j$ – некоторая ситуа-

ция, в которой находится агент в момент времени t_c, $a_{it_c}^j$ – действия, которые необходимо совершить для перехода из текущей ситуации к ситуации, ведущей к увеличению энергии [16].

Взаимодействие происходит в соответствии с договорными обязательствами, названными в [12] «мультиагентный контракт». Контракт представляет собой алгоритм, согласно которому агент-нейрон $\aleph_i^j$ типа j делает рассылку сообщений всем агентам-нейронам $\aleph_i^l$ типа l в соответствии с листом рассылки m_{iq}^l. За заключенный контракт с агентом $\aleph_i^l$ агент $\aleph_i^j$ получает вознаграждение в виде энергии e_n^j. Энергия – безразмерная величина. При этом возникает мультиагентное экзистенциальное отображение, или -отображение (айн-отображнение) [12], согласно которому агенты на запрос контрагентов сообщают требуемую информацию в обмен на энергию. Такое отображение записывается в виде

$$\aleph_i^j = \left(\aleph_i^l\right). \tag{2}$$

Каждый агент-нейрон в составе ИА обладает базой знаний, согласно которой функционирует и заключает мультиагентные контракты. Мультиагентные знания (МА-знания) представляют собой продукции, условная часть которых определяет начальную и конечную ситуацию, а ядро – действие, которое переводит агента из начальной ситуации в конечную, и могут быть записаны как

$$k_i^{jh} = \left(s_{t_i\tau_a}^{j\tau_b} \wedge s_{t_i\tau_c}^{h\tau_f};\ a_{t_i\tau_d}^{jh\tau_f}\right),\ \tau_a \le \tau_b \le \tau_c \le \tau_d \le \tau_f, \tag{3}$$

где $s_{t_i\tau_a}^{j\tau_b}$ – начальная ситуация, $s_{t_i\tau_c}^{h\tau_f}$ – конечная (желаемая) ситуация, $a_{t_i\tau_d}^{jh\tau_f}$ – действие, которое должен выполнить агент, чтобы из начальной перейти в желаемую ситуацию.

Причем условная часть может содержать две и более ситуации, связанные условным «и» в виде

$$L_i^j = s_{t_i\tau_a}^{j\tau_b} \wedge s_{t_i\tau_c}^{h\tau_d} \wedge \ldots \wedge s_{t_i\tau_d}^{h\tau_f}, \tag{4}$$

а ядро состоять из нескольких действий и записано в виде

$$\mathrm{H}_i^j = a_{t_i\tau_a}^{jh\tau_b} \wedge a_{t_i\tau_c}^{jh\tau_d} \wedge \ldots \wedge a_{t_i\tau_d}^{jh\tau_f}. \tag{5}$$

Тогда, учитывая (4) и (5), знание (3) перепишем в виде

$$k_i^{jh} = L_i^j \Rightarrow \mathrm{H}_i^j. \tag{6}$$

Способность агента вступать в контрактные отношения с агентами-нейронами определенного типа называется валентностью.

Под оптимальным планом поведения будем понимать такое поведение, при котором интеллектуальный агент, анализируя расход собственной энергии, прогнозирует её уменьшение до состояния «голода» и формирует решение, которое ведет к поддержанию комфортного уровня энергии.

Для формирования оптимального плана поведения ИА на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры должен иметь в составе модель ситуативного анализа,

включающего в себя идентификацию ситуации, ее эмоциональную оценку, а также поиск причинно-следственных зависимостей для формирования возможных решений. Каждый из этих функциональных блоков представляет собой слой нейрокогнитивной архитектуры (рис. 1) и состоит из агентов-нейронов определенного типа (на рис. 1 представлены условные названия и пиктограммы агентов-нейронов), которые порождаются по требованию специальными агентами-нейронами – нейрофабриками (на рисунке – пиктограммы с внутренним дополнительным контуром). Нейрофабрики анализируют наличие агентов-нейронов, к которым приходят сообщения (на рисунке в пунктирных овалах) от других агентов в составе когнитивных блоков. Если на сообщение отвечает агент-нейрон, значит, в архитектуре уже есть свой обработчик, и нейрофабрика не реагирует. Если же в нейрокогнитивной архитектуре такого агента-нейрона нет, нейрофабрика порождает его, и агент-нейрон назначается обработчиком этого сообщения путем загрузки ему нейрофабрикой алгоритмов и знаний, характерных для агентов данного типа. На основе этих алгоритмов у агента формируется база знаний, состоящая из множества знаний вида (3), и функциональная зависимость (2).

Информацию о среде ИА получает посредством сенсоров, которые в мультиагентной системе представляются агентами-нейронами, не имеющими целевой функции и условно называемыми акторами. Алгоритм работы акторов жестко задается разработчиком и направлен на первичную обработку информации и передачу ее в нейрокогнитивную архитектуру.

Результатом работы первого слоя агентов будет распознанное некоторое событие $s^{j}_{i\tau_к}$, произошедшее в момент времени $\tau_к$, $k = 1, \dots N$, $N -$ количество агентов в системе, которое представляется в виде функциональных зависимостей (2) между концептуальными агентами $\aleph^{j}_{i}$ (на рисунке представлены в первом слое) и агентами-событиями (представлены в виде трилистника на втором слое). Формально событие, поступившее на вход системы, можно записать в виде

$$s^{j}_{i\tau_k} = \left\{ \aleph^{j}_{i} : \aleph^{j}_{i} = \cup^{j_k}_{i_k} \left\{ \left(\aleph^{j+1}_{i+1} \right) \right\} \right\}.$$

Сообщения от агентов-событий поступают на вход агентов-оценки, изображенных на рисунке 1 в виде сердечек (третий слой). Эти агенты согласно своим базам знаний оценивают поступившее событие на наличие или отсутствие проблемы, т. е. ситуации, которая может привести к потере или приобретению энергии.

Основная цель: определить события с негативной и позитивной эмоциональной оценкой и построить причинно-следственную зависимость между ними, т. е. определить, какие события послужили причиной негативного события и какие события впоследствии приведут к позитивному исходу.

Рассмотрим алгоритм построения причинно-следственной зависимости между событийными агентами, представленными на втором слое рисунка 1. Пусть в начальный момент времени ИА обладает энергией e_0 и знаниями вида (6). Через некоторое время $\Delta\tau$, энергия в «акторе – распределитель энергии» ИА уменьшилась, о чем пришло сообщение от сенсора актора концептуальным агентам, которые сформировали событие «энергия уменьшилась». Это событие получило негативную оценку и в результате работы агентов целеполагания, плана действий и моделирующего привело к прогнозу события «Голод! через $\Delta\tau$», которое возможно при расходе энергии, равном Δe.

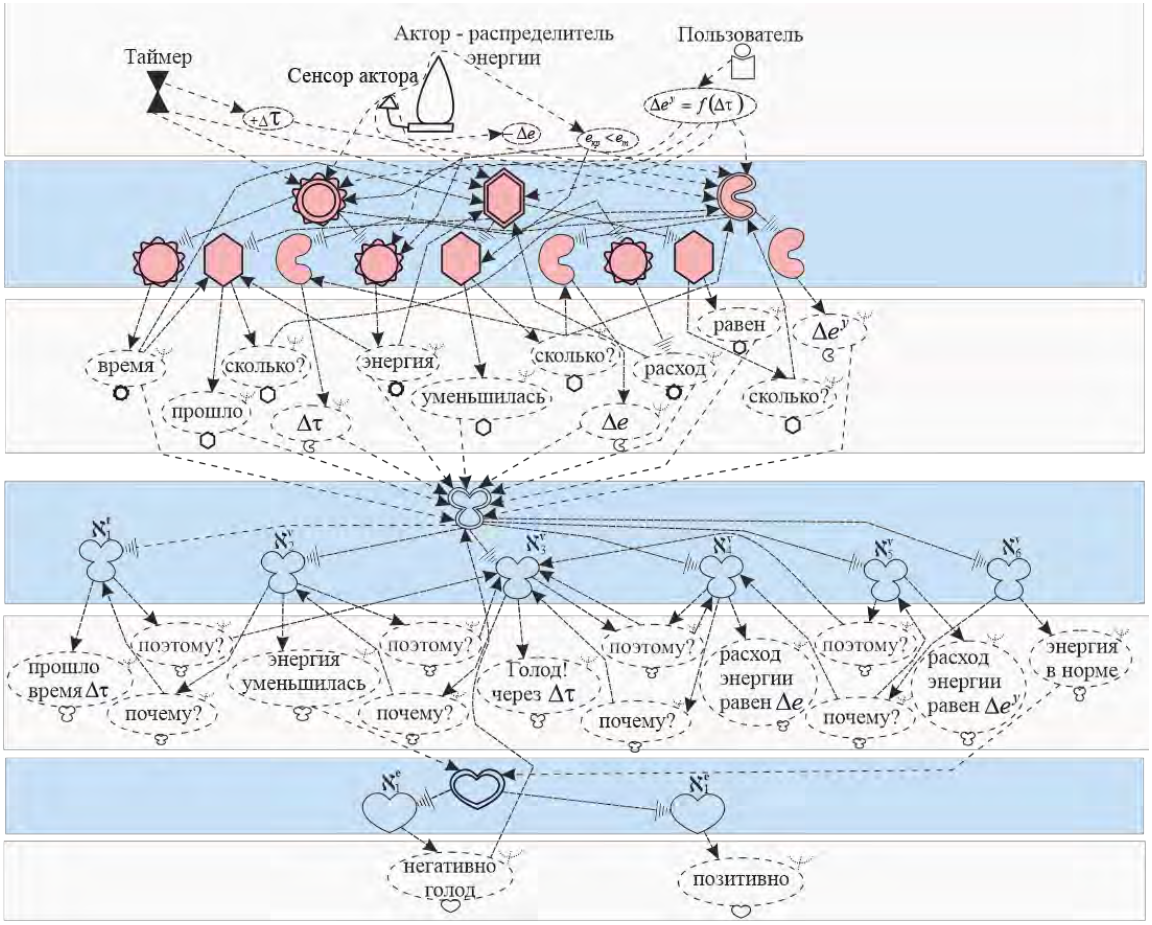

Рис. 1. *Алгоритм построения интеллектуальным агентом причинно-следственных связей между событиями*

Согласно (6) у ИА формируется знание вида $L_i^1 \Rightarrow \mathrm{H}_i^1$: «Если расход энергии равен Δe, тогда голод наступит через $\Delta\tau$».

Для увеличения времени расхода энергии ИА отправляет запрос пользователю и получает от него модель изменения расхода энергии в виде формулы $\Delta e^y = f(\Delta\tau)$, приводящую к изменению МА-знания ИА в виде $L_i^2 \Rightarrow \mathrm{H}_i^2$: «Если расход энергии равен Δe^y, тогда голод наступит через $\Delta\tau + \Delta\tau_1$»

Следовательно, в базе знаний ИА происходит формирование нового МА-знания, согласно которому агент может увеличить продолжительность оптимального уровня собственной энергии. Формирование нового МА-знания схематически представлено на рисунке 2.

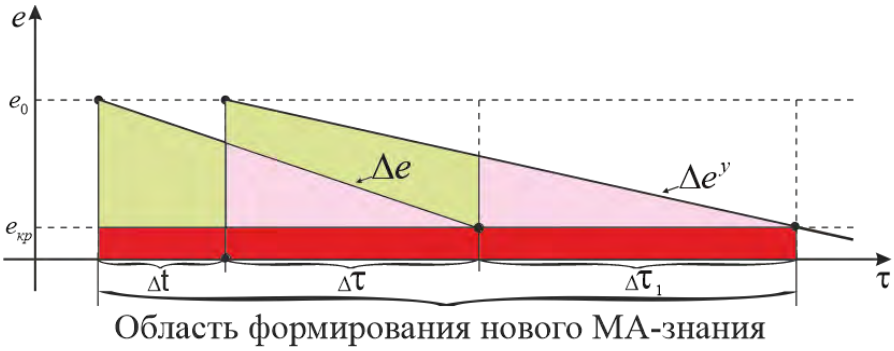

Рис. 2. *Графическое представление формирования нового МА-знания*

Формально причинно-следственную зависимость и формирование нового знания можно записать в виде:

$$\mathbf{I}\begin{cases}\aleph_1^t \to \aleph_3^V\text{: «Прошло время } \Delta\tau\text{»} \wedge \\ \wedge\, \aleph_1^t \to \aleph_3^V\text{: «Поэтому»} \wedge \\ \wedge\, \aleph_2^V \to \aleph_3^V\text{: «Энергия уменьшилась»} \Rightarrow \\ \wedge\, \aleph_2^V \to \aleph_3^V\text{: «Поэтому»} \wedge \\ \quad \wedge\, \aleph_4^V \to \aleph_3^V\text{: «Расход энергии равен } \Delta e\text{»}\end{cases} \aleph_3^V \to \aleph_1^e\text{: «Голод»} \wedge \aleph_1^t \to \aleph_1^e\text{: «}\Delta\tau\text{»}$$

$$\mathbf{I} \wedge\ \aleph_5^V \to \aleph_3^V\text{: «Расход энергии равен } \Delta e^y\text{»} \Rightarrow \aleph_3^V \to \aleph_1^e\text{: «Голод»} \wedge$$
$$\wedge\, \aleph_2^t \to \aleph_1^e\text{: «}\Delta\tau + \Delta\tau_1\text{».}$$

Имея в базе знаний данные об изменении времени и модель расхода энергии, ИА вырабатывает план поведения, который приводит к позитивной ситуации, когда уровень собственной энергии в норме. Таким образом, ИА путем управления своим поведением стремится удержать оптимальное для себя состояние.

На рисунке 3 представлена имитационная модель обучения ИА.

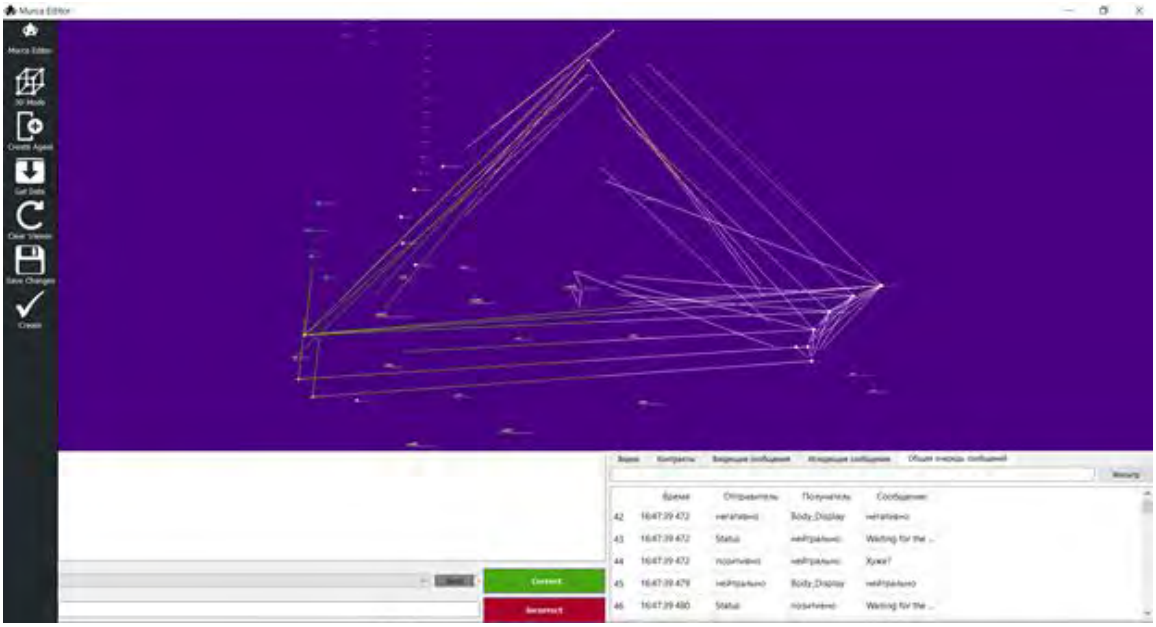

Рис. 3. *Имитационная модель обучения ИА*

В результате обучения происходит развитие нейрокогнитивной архитектуры ИА за счет создания новых агентов-нейронов и связей между ними (на рисунке представлены линиями), что приводит к формированию оптимального плана поведения.

Заключение

В работе представлена формальная модель мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур. В частности, сформулированы основные принципы ситуативного анализа на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур и разработан алгоритм построения причинно-следственной зависимости между агентами.

Проведенное имитационное моделирование показало, что на основе обучения нейрокогнитивной архитектуры путем формирования новых агентов-нейронов и связей между ними развивается (формируется) сложная логическая функция управления поведением (в частности, ситуативного анализа).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нагоев З.В., Бжихатлов К.Ч., Нагоева О.В., Сундуков З.А., Канкулов С.А.* Автономное формирование модели пользователя по данным цифрового следа в Интернет-пространстве на основе обучения мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6 (98). С. 52–67.

2. *Сеченов И.М.* Рефлексы головного мозга: попытка свести способ происхождения психических явлений на физиологические основы. Л.: Прибой, 1926. 123 с.

3. *Павлов И.П.* Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 352 с.

4. *Ухтомский А.А.* Доминанта. СПб.: Питер, 2002. 448 с.

5. *Анохин П.К.* Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. 447 с.

6. *Беритов И.С.* Структура и функции коры большого мозга. М.: Наука, 1969. 532 с.

7. *Корсакова Н.К., Московичюте Л.И.* Клиническая нейропсихология. М., 2007. 165 с.

8. *Лурия А.Р.* Мозг человека и психические процессы. М.: Педагогика, 1970. 496 с.

9. *Смирнов В.М., Будылина С.М.* Физиология сенсорных систем и высшая нервная деятельность. М.: Академия, 2004, 304 с.

10. *Зильбернагль С., Деспопулос А.* Наглядная физиология. М.: Бином, 2013, 408 с.

11. *Хомская Е.Д.* Нейропсихология: 4-е издание. СПб.: Питер, 2005. 496 с.

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

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

14. *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. T. 948. C. 379–386.

15. Nagoev Z., Nagoeva O., Pshenokova I., Gurtueva I. Multi-agent Model of Semantics of Simple Extended Sentences Describing Static Scenes // Interactive Collaborative Robotics. 4th International Conference Proceedings, ICR 2019. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Vol. 11659. Pp. 245–259.

16. *Пшенокова И.А., Сундуков З.А.* Разработка имитационной модели сценарного прогнозирования поведения интеллектуального агента на основе инварианта рекурсивной мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6 (98). С. 80–90.

REFERENCES

1. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Nagoeva O.V., Sundukov Z.A., Kankulov S.A. *Avtonomnoye formirovaniye modeli pol'zovatelya po dannym tsifrovogo sleda v Internet-prostranstve na osnove obucheniya mul'tiagentnykh neyrokognitivnykh arkhitektur* [Autonomous

formation of a user model based on digital footprint data in the Internet space based on training multi-agent neurocognitive architectures] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 6 (98). Pp. 52–67.

2. Sechenov I.M. *Refleksy golovnogo mozga: popytka svesti sposob proiskhozhdeniya psikhicheskikh yavleniy na fiziologicheskiye osnovy* [Reflexes of the brain: An attempt to reduce the mode of origin of mental phenomena to physiological foundations]. L.: Priboy, 1926. 123 p.

3. Pavlov I.P. *Lektsii o rabote bol'shikh polushariy golovnogo mozga* [Lectures on the work of the cerebral hemispheres]. M., L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1947. 352 p.

4. Ukhtomsky A.A. *Dominanta* [Dominant]. SPb.: Peter, 2002. 448 p.

5. Anokhin P.K. *Ocherki po fiziologii funktsional'nykh sistem* [Essays on the physiology of functional systems]. M.: Medicine, 1975. 447 p.

6. Beritov I.S. *Struktura i funktsii kory bol'shogo mozga* [Structure and function of the cerebral cortex]. M.: Nauka, 1969. 532 p.

7. Korsakova N.K., Moskovichyute L.I. *Klinicheskaya neyropsikhologiya* [Clinical neuropsychology]. M., 2007. 165 p.

8. Luria A.R. *Mozg cheloveka i psikhicheskiye protsessy* [Human brain and mental processes]. M., Pedagogy. 1970. 496 p.

9. Smirnov V.M., Budylina S.M. *Fiziologiya sensornykh sistem i vysshaya nervnaya deyatel'nost* [Physiology of sensory systems and higher nervous activity]. M.: Academy, 2004, 304 p.

10. Zilbernagl S., Despopoulos A. *Naglyadnaya fiziologiya* [Visual physiology]. M.: Binom, 2013, 408 p.

11. Khomskaya E.D. *Neyropsikhologiya* [Neuropsychology]: 4th edition. SPb.: Peter, 2005. 496 p.

12. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Publishing House KBSC RAS, 2013. 213 p.

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

14. 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. V. 948. Pp. 379–386.

15. Nagoev Z., Nagoeva O., Pshenokova I., Gurtueva I. Multi-agent Model of Semantics of Simple Extended Sentences Describing Static Scenes // Interactive Collaborative Robotics. 4th International Conference Proceedings, ICR 2019. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Vol. 11659. Pp. 245–259.

16. Pshenokova I.A., Sundukov Z.A. *Razrabotka imitatsionnoy modeli stsenarnogo prognozirovaniya povedeniya intellektual'nogo agenta na osnove invarianta rekursivnoy mul'tiagentnoy neyrokognitivnoy arkhitektury* [Development of a simulation model for predicting the behavior of an intelligent agent based on an invariant of a recursive multi-agent neurocognitive architecture] // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 6 (98). Pp. 80–90.

MULTI-AGENT SEARCH FORMAL MODEL FOR AN INTELLIGENT AGENT OPTIMAL BEHAVIOR PLAN BASED ON DISTRIBUTED NEUROCOGNITIVE ARCHITECTURES SELF-ORGANIZATION*

Z.V. NAGOEV[1], I.A. PSHENOKOVA[2], S.A. KANKULOV[2], B.A. ATALIKOV[2], A.A. AYRAN[1]

[1]Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center «Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
360002, KBR, Nalchik, 2 Balkarova str.
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 str.
E-mail: iipru@rambler.ru

The paper proposes an approach to the development of intelligent decision-making and control systems based on the hypothesis of the organization of neural activity of the brain in the process of performing cognitive functions. This approach, based on intelligent software agents with a developed cognitive architecture, is able to provide the process of extracting knowledge from an unstructured data stream, generalizing the acquired knowledge and learning, to implement effective methods of synthesizing behavior aimed at solving various problems.

A formal model of a multi-agent search for the optimal behavior plan of an intelligent agent based on self-organization of distributed neurocognitive architectures is presented. In particular, the basic principles of situational analysis based on multi-agent neurocognitive architectures are formulated and an algorithm for constructing a cause-and-effect relationship between agents is developed.

The conducted simulation showed that on the basis of training neurocognitive architecture by forming new agents-neurons and connections between them, a complex logical function of behavior control (in particular, situational analysis) develops (is formed).

Keywords: multi-agent systems, neurocognitive architecture, decision making, artificial intelligence systems, intelligent agents.

Received by the editors 20.04.2021

For citation. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Kankulov S.A., Atalikov B.A., Ayran A.A. Multi-agent search formal model for an intelligent agent optimal behavior plan based on distributed neurocognitive architectures self-organization // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2021. No. 3 (101). Pp. 21-31.

Сведения об авторе:

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

Пшенокова Инна Ауесовна, к.ф.-м.н., зав. лабораторией «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН.
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: pshenokova_inna@mail.ru

* This work was supported by the RFBR project 19-01-00648 A

Канкулов Султан Ахмедович, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН.
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
Email: skankulov@mail.ru
Аталиков Борис Анзорович, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания» Института информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН.
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: atalikov10@gmail.com
Айран Абдурахман Абдаллаевич, техник лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы» Кабардино-Балкарского научного центра РАН.
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а.
E-mail: airan199971@gmail.com

Information about the authors:

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Chairman of KBSC of the Russian Academy of Sciences.
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.
E-mail: zaliman@mail.ru
Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Head of Laboratory «Intellectual habitats» of Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC of the Russian Academy of Sciences.
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.
E-mail: pshenokova_inna@mail.ru
Kankulov Sultan Akhmedovich, trainee researcher of the Laboratory «Intellectual habitats» of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of the KBSC of the Russian Academy of Sciences.
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.
E-mail: skankulov@mail.ru
Atalikov Boris Anzorovich, trainee researcher of the Laboratory «Intellectual habitats» of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of the KBSC of the Russian Academy of Sciences.
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.
E-mail: atalikov10@gmail.com
Ayran Abdurakhman Abdallaevich, technician of the laboratory "Neurocognitive autonomous intellectual systems" of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.
360000, KBR, Nalchik, 37-a I. Armand str.
E-mail: airan199971@gmail.com