

Нейрокогнитивные отображения и функции для моделей нейроморфогенеза в системах управления интеллектуальных онтофилогенетических агентов

З. В. Нагоев^{1, 2}

¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Основная научная проблема, решению которой посвящена настоящая работа, заключается в необходимости разработки формального аппарата для описания процессов онтонейроморфогенеза роста и развития аксо-дендрональных связей между агентами-нейронами в составе управляющих нейрокогнитивных архитектур интеллектуальных программных агентов. Цель исследования состоит в разработке формального аппарата, описывающего взаимодействие между элементами мультиагентных нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта. Разработан формальный аппарат для описания мультиагентных нейрокогнитивных архитектур и процессов ситуативно-обусловленного роста и деградации ассоциативных связей в них, инспирированных процессами роста и деградации аксо-дендрональных связей в головном мозге человека. Впервые введены понятия и даны формальные определения мультиагентных пространств, координат, осей, метрик, протоколов, диалогов, реплик и мультиреплик, функций нейроморфогенеза, пресинаптических и постсинаптических терминалей, коэффициентов корреляции и доверия, функций активации и доверия, синапсов, необходимые для записи и исчисления контрактов между акторами в составе когнитивных архитектур агентов. Впервые введены нейрокогнитивные функции (отображения), описывающие процессы онтонейроморфогенеза в нейрокогнитивных архитектурах интеллектуальных агентов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, нейроморфогенез, машинное обучение, онтофилогенетические агенты

Поступила 29.11.2024, одобрена после рецензирования 09.12.2024, принята к публикации 10.12.2024

Для цитирования. Нагоев З. В. Нейрокогнитивные отображения и функции для моделей нейроморфогенеза в системах управления интеллектуальных онтофилогенетических агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 188–196. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-188-196

MSC: 68T42

Original article

Neurocognitive mappings and functions for neuromorphogenesis models in control systems of intelligent ontophylogenetic agents

Z.V. Nagoev^{1, 2}

¹Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

²Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

Abstract. The main scientific problem of this work is the need to develop a formal apparatus for describing processes of onto-neuromorphogenesis, growth and development of axo-dendronal connections among agent neurons in the control neurocognitive architectures of intelligent software agents. The aim of the study is to develop a formal apparatus describing the interaction among elements of multi-agent neurocognitive architectures of agents of universal artificial intelligence. A formal apparatus has been developed to describe multi-agent neurocognitive architectures and processes of situationally conditioned growth and degradation of associative connections in them, inspired by the processes of growth and degradation of axo-dendronal connections in human brain. For the first time concepts have been introduced and formal definitions have been given for multi-agent spaces, coordinates, axes, metrics, protocols, dialogues, replicas and multi-replicas, neurogenesis functions, presynaptic and postsynaptic terminals, correlation and trust coefficients, activation and trust functions, synapses, which are necessary for recording and calculating contracts among actors as part of cognitive architectures of agneurons. For the first time neuro-cognitive functions (mappings) have been introduced that describe the processes of ontoneuromorphogenesis in neurocognitive architectures of intelligent agents.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent systems, neurocognitive architectures, neuromorphogenesis, machine learning, ontophylogenetic agents

Submitted 29.11.2024,

approved after reviewing 09.12.2024,

accepted for publication 10.12.2024

For citation. Nagoev Z.V. Neurocognitive mappings and functions for neuromorphogenesis models in control systems of intelligent ontophylogenetic agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 188–196. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-188-196

ВВЕДЕНИЕ

В [1, 2] предложена концепция алгоритмов онтонейроморфогенеза, описывающих процессы ситуативно-детерминированного роста и деградации ассоциативных связей между агентами-нейронами (агнейронами) в нейрокогнитивных архитектурах, представляющих собой метафоры проектирования систем управления поведением интеллектуальных программных агентов, действующих в реальной среде. Основная идея этой концепции состоит в имитации гипотетических процессов формирования аксо-дендрональных связей между нейронами головного мозга человека в ходе его индивидуального развития с целью формирования алгоритмической базы идентификации, онтологизации и решения проблем универсального спектра в системе «интеллектуальный агент – реальная среда». Агнейроны представляются минимальными функциональными моделями (клетками) искусственной жизни, обладающими собственными целевыми функциями максимизации энергии, рассматриваемой как описательная величина, характеризующая степень жизнеспособности агнейрона. Агнейроны могут получать энергию из резервуара энергии интеллектуального программного агента, в составе функциональных узлов (нейрокогнитонов) нейрокогнитивной архитектуры которого они находятся, и расходовать эту энергию на выполнение различных действий, основным из которых является отправка сообщений другим агнейронам.

Кроме того, агнейроны могут посылать друг другу порции энергии с целью получения взамен информации, которой располагает агнейрон-контрагент. Такой обмен получил название нейрокогнитивный контракт. Агнейроны вступают друг с другом в контрактные отношения, исходя из своих представлений, выраженных в их онтологиях, реализованных на базе мультиагентных знаний, хранящихся в их нейрокогнитивных архитектурах.

Агнейроны являются промежуточным звеном рекурсивной нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента, так как, с одной стороны, входят в состав различных нейрокогнитонов этой архитектуры (рис. 1 а), а с другой стороны, сами включают в свой состав внутреннюю когнитивную архитектуру, состоящую из когнитивных узлов (акторкогнитонов), функциональность которых сходна с нейрокогнитонами, в которых

располагаются т.н. акторы – программные агенты, не имеющие своей собственной целевой функции и действующие в процедурном стиле на основе продукционных правил, содержащихся в их базах знаний (рис. 1 б).

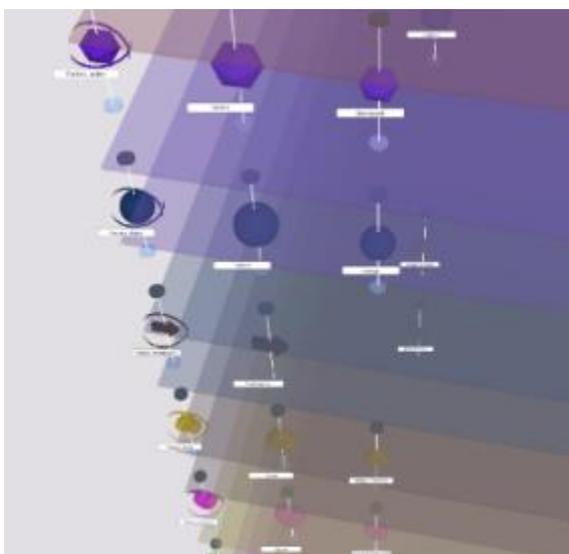


Рис. 1 а). Агнейроны в составе нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента

Fig. 1 a). Agneurons as part of the neurocognitive architecture of an intelligent agent



Рис. 1 б). Акторы в составе акторной когнитивной архитектуры агнейрона

Fig. 1 b). Actors in the actor-cognitive architecture of the agneuron

Концепция управления развитием нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента на основе алгоритма онтонейроморфогенеза мотивирована гипотетическим сходством вышеописанных процессов с процессами, происходящими в головном мозге человека в процессе формирования онтологий системы «интеллектуальный агент – среда», синтеза поведения этого интеллектуального агента в пространстве состояний этой системы. Особый теоретический и практический интерес представляет возможность обоснования способности управляющих нейрокогнитивных архитектур к синтезу автономного поведения, направленного на идентификацию, онтологизацию и решение любых проблем (последовательность состояний, приводящая интеллектуального агента к потере энергии), с которыми агент может столкнуться в пространстве состояний этой системы (*универсальный спектр проблем*), так как именно такая способность, по нашему представлению, является основным классифицирующим признаком *агента универсального искусственного интеллекта (УИИ)* [3].

Основная *научная проблема*, решению которой посвящена настоящая работа, заключается в необходимости разработки формального аппарата для описания процессов онтонейроморфогенеза роста и развития аксо-дендрональных связей между агентами-нейронами в составе управляющих нейрокогнитивных архитектур интеллектуальных программных агентов.

Актуальность работы определяется требованиями разработки концептуальной, формальной и алгоритмической базы агентов универсального искусственного интеллекта, пригодных к обучению и использованию при решении задач универсального спектра.

Цель исследования состоит в разработке формального аппарата, описывающего взаимодействие между элементами мультиагентных нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта.

Основной *задачей* исследования является разработка формального аппарата для моделирования взаимодействия акторов в составе когнитивных архитектур агнейронов в процессах формирования и расторжения мультиагентных контрактов на обмен энергией и информацией.

1. НЕЙРОКОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ (ОТОБРАЖЕНИЯ)

Опишем нейрокогнитивную архитектуру $\mathfrak{N}_i^{\mathfrak{L}}$ интеллектуального агента $\mathfrak{N}_i^{\mathfrak{L}}$ множеством:

$$\mathfrak{N}_i^{\mathfrak{L}} = \left\{ \mathfrak{P}_{jT_j}^i \mid j = 1, 2, \dots, j^{\max} \right\}, \mathfrak{P}_{jT_j}^i = \left\{ \mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\mathfrak{L}-1)} \mid k = 1, 2, \dots, k^{j\max} \right\},$$

$$\mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\mathfrak{L}-1)} = \left\{ K_{lT_l}^{ijk} \mid l = 1, 2, \dots, l^{k\max} \right\}, K_{lT_l}^{ijk} = \left\{ \alpha_{hT_l}^{ijkl(\mathfrak{L}-2)} \mid h = 1, 2, \dots, h^{jkl\max} \right\},$$

где $\mathfrak{P}_{jT_j}^i$ – нейрокогнитоны, $\mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\mathfrak{L}-1)}$ – агнейроны типа T_j , $K_{lT_l}^{ijk}$ – акторкогнитоны, $\alpha_{hT_l}^{ijkl(\mathfrak{L}-2)}$ – акторы типа T_l . Индексы \mathfrak{L} указывают на ранг.

Актор $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ зададим абстрактным конечным детерминированным автоматом: $\alpha_{hT_l}^{ijkl} = (X_{hT_l}^{ijkl}, S_{hT_l}^{ijkl}, Y_{hT_l}^{ijkl}, \delta_{hT_l}^{ijkl}, \lambda_{hT_l}^{ijkl})$.

Здесь $X_{hT_l}^{ijkl} = \{x_{hT_lv}^{ijkl}\}$ – входной язык, включающий высказывания вида:

$$x_{hT_lv}^{ijkl} = \left(\left(\alpha_{hT_{lv1}}^{ijkl}, x_{hT_{lv1}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lv1}}^{ijkl} \right), \left(\alpha_{hT_{lv2}}^{ijkl}, x_{hT_{lv2}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lv2}}^{ijkl} \right), \dots, \right. \\ \left. \left(\alpha_{hT_{lvq\max}}^{ijkl}, x_{hT_{lvq\max}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lvq\max}}^{ijkl} \right) \right),$$

где $\alpha_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ – акторы, $x_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ – символьные сообщения, $\Delta v_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ – порции энергии (ноотрона), $S_{hT_l}^{ijkl} = \{s_{hT_l b\tau c}^{ijkl}\}$ – состояния автомата, $Y_{hT_l}^{ijkl} = \{y_{hT_lv}^{ijkl}\}$ – выходной язык, состоящий из высказываний вида:

$$y_{hT_lv}^{ijkl} = \left(\left(\alpha_{hT_{lv1}}^{ijkl}, y_{hT_{lv1}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lv1}}^{ijkl} \right), \left(\alpha_{hT_{lv2}}^{ijkl}, y_{hT_{lv2}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lv2}}^{ijkl} \right), \dots, \right. \\ \left. \left(\alpha_{hT_{lvq\max}}^{ijkl}, y_{hT_{lvq\max}}^{ijkl}, \Delta v_{hT_{lvq\max}}^{ijkl} \right) \right),$$

$\alpha_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ – акторы – реципиенты сообщений $y_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ или порций энергии $\Delta v_{hT_{lvq}}^{ijkl}$ от актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$.

Процедуры рассылки сообщений и энергии отобразим в виде:

$$\alpha_{uT_d}^{ijkl} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl} : m_{ijkl}^{ijkl}, \alpha_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow \alpha_{uT_d}^{ijkl} : \Delta v_{ijkl}^{ijkl}$$

Функции переходов

$$\delta_{hT_l}^{ijkl} : S_{hT_l}^{ijkl} \times X_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow S_{hT_l}^{ijkl}$$

и выходов

$$\lambda_{hT_l}^{ijkl} : S_{hT_l}^{ijkl} \times X_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow Y_{hT_l}^{ijkl}$$

автомата $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ реализованы на базе знаний $\mathfrak{K}_{hT_l}^{ijkl}$, представленных *продукциями* вида:

$$\mathfrak{K}_{hT_l}^{ijkl} = \langle P_{hT_lv}^{ijkl}, L_{hT_lv}^{ijkl} \Rightarrow Y_{hT_lv}^{ijkl}, Q_{hT_lv}^{ijkl} \rangle, L_{hT_lv}^{ijkl} = \bigwedge_{q=1}^{q\max} l_{hT_lvq}^{ijkl},$$

где $P_{hT_lv}^{ijkl}$ – предусловия, $L_{hT_lv}^{ijkl} \Rightarrow Y_{hT_lv}^{ijkl}$ – ядро, $L_{hT_lv}^{ijkl}$ – *антецедентная часть*, $Y_{hT_lv}^{ijkl}$ – *консеквентная часть*, $Q_{hT_lv}^{ijkl}$ – постусловие. Продукции $\mathfrak{K}_{hT_l}^{ijkl}$ составляют базу знаний $\mathfrak{K}_{hT_l}^{ijkl}$ актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$.

С целью описания нейрокогнитивных архитектур введем в рассмотрение т.н. *мультиагентные функции и пространства*, задающие отображения между множествами состояний агентов. Переопределим введенные в [4] \mathfrak{U} -функции (айн-функции).

\mathfrak{v} -функция – это отображение:

$$\mathfrak{v}: Y_{T_d}^{ijkl} \rightarrow Y_{T_l}^{ijkl}, \forall Y_{T_d}^{ijkl} \in \left\{ \langle Y_{1T_d v_c^1}^{ijkl}, Y_{2T_d v_c^2}^{ijkl}, \dots, Y_{u^{\max} T_d v_c^{u^{\max}}}^{ijkl} \mid c = \overline{1, c^{\max}} \rangle, \right. \\ \left. \exists u, \exists v_c^u, \alpha_{uT_d}^{ijkl} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl}: Y_{uT_d v_c^u}^{ijkl}, Y_{uT_d v_c^u}^{ijkl} \neq \emptyset \right\}, \\ \exists Y_{T_l}^{ijkl} \in \left\{ \langle Y_{1T_l v_c^1}^{ijkl}, Y_{2T_l v_c^2}^{ijkl}, \dots, Y_{h^{\max} T_l v_c^{h^{\max}}}^{ijkl} \rangle \mid c = \overline{1, c^{\max}} \right\}, \\ \exists \alpha_{hT_l}^{ijkl}, \exists Y_{hT_l v_c^h}^{ijkl}, L_{hT_l v}^{ijkl} = \text{Истина.}, Y_{hT_l v_c^h}^{ijkl} = \lambda_{hT_l}^{ijkl} \left(S_{hT_l c}^{ijkl}, Y_{uT_d v_c^u}^{ijkl} \right), c^{\max} = \prod_{u=1}^{u^{\max}} v_c^{u^{\max}}, v_c^{u^{\max}} \\ = |Y_{uT_d}^{ijkl}|,$$

где $Y_{T_d}^{ijkl} = \bigcup_{u=1}^{u^{\max}} Y_{uT_d}^{ijkl}$, $Y_{T_l}^{ijkl} = \bigcup_{h=1}^{h^{\max}} Y_{hT_l}^{ijkl}$ – выходные языки акторов $\alpha_{uT_d}^{ijkl} \in K_{dT_d}^{ijk}$, $\alpha_{hT_l}^{ijkl} \in K_{lT_l}^{ijk}$.

Допустим также запись:

$$y_{T_{(j+1)(j+1)}}^i = \mathfrak{v} \left(Y_{T_j}^i \right), K_{T_{(j+1)}}^i = \mathfrak{v} \left(K_{T_j}^i \right), Y_{T_{(j+1)}}^i = \mathfrak{v}_{K_{T_{(j+1)}}^i}^{K_{T_j}^i} \left(Y_{T_j}^i \right), Y_{T_{(j+1)}}^i = \mathfrak{v}_{K_{T_{(j+1)}}^i}^{K_{T_j}^i} \left(Y_{T_j}^i \right).$$

Определим хор айн-функции $Y_{(j+1),T_{j+1}}^i = \mathfrak{v}_{\chi_{jT_j}^i}^{\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i} \left(Y_{T_j}^i \right)$ как множество акторов:

$$\chi_{jT_j}^i = \left\{ a_{uT_j}^{ij} \mid a_{hT_j}^{ij} \rightarrow a_{hT_{j+1}}^{ij+1} : m_{ijuT_j}^{i,(j+1),hT_{j+1}} \in Y_{jT_j}^i \right\}$$

и аудиторию – множество акторов:

$$\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i = \left\{ a_{hT_{j+1}}^{ij+1} \mid a_{hT_j}^{ij} \rightarrow a_{hT_{j+1}}^{ij+1} : m_{ijuT_j}^{i,(j+1),hT_{j+1}} \in Y_{jT_j}^i \right\}.$$

Определим функцию нейрогенеза:

$$\varphi_{hT_l c}^{ijkl(c+1)}: Y_{T_d}^{ijkl} \rightarrow \chi_{(j+1),T_{j+1}}^i, \forall Y_{T_d}^{ijkl} \in K_{T_{(j+1)c}^i}, Y_{(j+1),T_{j+1}}^i = \mathfrak{v}_{\chi_{jT_j}^i}^{\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i} \left(Y_{T_j}^i \right); \\ \nexists \chi_{(j+1),T_{j+1}}^i \in K_{T_{(j+1)c}^i} \Rightarrow K_{T_{(j+1),(c+1)}^i} = K_{T_{(j+1)c}^i} \cup \chi_{(j+1),T_{j+1}}^i,$$

где $K_{T_{(j+1)c}^i}$ и $K_{T_{(j+1),(c+1)}^i}$ – когнитоны на c -м и $c+1$ -м шагах времени.

В силу того, что такая функция создает в когнитоне $K_{T_{(j+1)}^i}$ акторов хора $\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i$, необходимых для айн-отображения $Y_{(j+1),T_{j+1}}^i = \mathfrak{v}_{\chi_{jT_j}^i}^{\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i} \left(Y_{T_j}^i \right)$, запишем:

$$\chi_{(j+1),T_{j+1}}^i = \varphi_{hT_l}^{ijkl} \left(Y_{T_d}^{ijkl} \right), \varphi_{hT_l}^{ijkl} \uparrow \chi_{(j+1),T_{j+1}}^i \left(Y_{T_d}^{ijkl} \right).$$

Определим мультиагентное пространство как множество:

$$\vec{\mathfrak{R}} = \left\{ \begin{array}{l} p_q(Y_q) \mid Y_q = (y_{1a^1}^q, y_{2a^2}^q, \dots, y_{na^n}^q), \\ \forall u, \forall a^u: y_{ua^u}^q \in \mathfrak{r}_u = \{y_{u1}, y_{u2}, \dots, y_{ua^{u^{\max}}}\}, \\ \exists p_v(Y_v) \in \vec{\mathfrak{R}}, Y_v = \mathfrak{v}(Y_q) \end{array} \right\},$$

где $Y_q = (y_{1a^1}^q, y_{2a^2}^q, \dots, y_{na^n}^q)$ – мультиагентные координаты точки $p_q(Y_q)$, множества \mathfrak{r}_u – мультиагентные оси, n – размерность, $Y_v = \mathfrak{v}(Y_q)$ – мультиагентная метрика пространства $\vec{\mathfrak{R}}$.

Зададим протокол мультиагентного взаимодействия $\vec{\pi}^o(a_{hT_l}^{ijkl}, a_{uT_d}^{ijkd})$ акторов $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ и $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ как упорядоченное множество взаимосвязанных состояний и выходов этих акторов. Определим диалог $\vec{\pi}^o \cdot \sigma(a_{uT_d}^{ijkd}, a_{hT_l}^{ijkl})$ как последовательность выходов автоматов $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ и $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$, мультиагентный автомат $\vec{a}(a_{uT_d}^{ijkd}, a_{hT_l}^{ijkl})$ как композицию этих автоматов, реплики $y_{hT_l v g \tau c}^{ijklo} = (\alpha_{uT_d \tau c}^{ijkd}, m_{ijklhv g \tau c}^{ijkduo}, \Delta v_{ijklhv g \tau c}^{ijkduo})$ как выходы автомата $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ в диалоге $\vec{\pi}^o \cdot \sigma(a_{uT_d}^{ijkd}, a_{hT_l}^{ijkl})$, направленных автомату $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$, и мультиреплики $Y_{T_d}^{ijkd}$ как множества реплик $y_{hT_l v g \tau c}^{ijklo}$.

Определим пресинаптическую терминаль актора $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ как пару:

$$\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh} = (P_{ijkdu}^{\xi ijklh}, F_{ijkdu}^{\xi ijklh}), P_{ijkdu}^{\xi ijklh} = (\alpha_{hT_l}^{\xi ijkl}, m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}, \Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}, \beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}, \beta_{ijkdu}^{\xi ijklhT}, \beta_{ijkdu}^{\xi ijklhF}),$$

$$F_{ijkdu}^{\xi ijklh} = (\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}(\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}), \mu_{ijkdu}^{\xi ijklh}(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{\xi ijkl})),$$

где $P_{ijkdu}^{\xi ijklh}$ – это объектная часть пресинаптической терминали, $F_{ijkdu}^{\xi ijklh}$ – функциональная часть пресинаптической терминали, $\alpha_{hT_l}^{\xi ijkl}$ – контрагент (актор-покупатель) актора-продавца $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ по данному синапсу, $m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}$ – тематическое нейромедиаторное сообщение синапса, $\Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}$ – ноотропное вознаграждение (стоимость) тематического нейромедиаторного сообщения пресинаптической терминали, $\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}$ – коэффициент корреляции, характеризующий пропускную способность (проводимость сигналов) пресинаптической терминали, $\beta_{ijkdu}^{\xi ijklhT}$ – порог доверия аксона, определяющий минимальное значение коэффициента корреляции $\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}$, при котором синапс сохраняет проводимость, $\beta_{ijkdu}^{\xi ijklhF}$ – порог разрушения (забывания) аксона, характеризующий значение коэффициента корреляции $\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}$, при котором синапс с участием пресинаптической терминали $\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}$ разрушается (на стороне аксона).

Коэффициент корреляции аксонной (пресинаптической) терминали вычисляется с помощью функции корреляции пресинаптической терминали (функция корреляции аксона):

$$\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh} = \beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}(\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}) = \beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{\xi ijkl}) = \frac{n^m(\Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta})}{n(m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta})} \in [0,1],$$

где $n(m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta})$ – количество раз, когда актор $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ отправляет актору $\alpha_{hT_l}^{\xi ijkl}$ тематические нейромедиаторные сообщения $m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}$ пресинаптической терминали $\zeta_{uT_dq}^{\xi ijkl}$, а $n(\Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta})$ – количество раз, когда в ответ на это сообщение актор $\alpha_{hT_l}^{\xi ijkl}$, выполняя свою часть синаптического контракта, до истечения времени жизни этого сообщения $\Delta \tau^L(m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta})$ отправляет (оплачивает) актору $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ порцию ноотропа $\Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}$:

$$n(m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}) = n(\alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{\xi ijkl} : m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}),$$

$$n^m(\Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}) = n(\alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{\xi ijkl} : m_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta} \Rightarrow \alpha_{hT_l}^{\xi ijkl} \rightarrow \alpha_{uT_d}^{ijkd} : \Delta v_{ijkdu}^{\xi ijklh\Theta}).$$

На основании значения коэффициента корреляции актор-продавец принимает решение о том, должен ли он отправлять информацию актору-покупателю. Для учета этого коэффициента используется функция доверия пресинаптической терминали актора (функция доверия аксона):

$$\mu^\xi(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl}) = \mu^\xi(\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}) = \begin{cases} \text{. ИСТИНА.}, & \beta_{ijkdu}^{\xi ijklh} \geq \beta_{ijkdu}^{\xi ijklhT} \\ \text{. ЛОЖЬ.}, & \beta_{ijkdu}^{\xi ijklh} < \beta_{ijkdu}^{\xi ijklhT} \end{cases},$$

$$\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh} \in [0,1], \beta_{ijkdu}^{\xi ijklhT} \in [0,1].$$

Так как актор $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ может образовывать множество *синаптических соединений*, для их описания определим множество *пресинаптических терминалей на аксоне актора*: $\Sigma^\xi(\alpha_{uT_d}^{ijkd}) = \{\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}\}$.

По аналогии определим *постсинаптическую терминаль* $\zeta_{ijkhlT_lw}^{\Delta ijkd}$ актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$, описывающие ее коэффициенты и функции, множество *постсинаптических терминалей актора* $\Sigma^\delta(\alpha_{hT_l}^{ijkl}) = \{\zeta_{ijkhlT_lw}^{\delta ijkd}\}$.

Определим *синапс акторов* $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ и $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ (*синаптический контракт*):

$$\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi \delta ijklhT_lw} = \left(\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}, \zeta_{ijkhlT_lw}^{\delta ijkd}, \overline{\pi}^\zeta(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl}), \overline{\pi}^\zeta(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl}) \right),$$

где $\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}$ – пресинаптическая терминаль, $\zeta_{ijkhlT_lw}^{\Delta ijkd}$ – постсинаптическая терминаль, $\overline{\pi}^\zeta(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl})$ – протокол формирования синапса, $\overline{\pi}^\zeta(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl})$ – протокол изменения аксо-дендрональной связи в синапсе.

Определим *нейрокогнитивное отображение (n-отображение)*, или *нейрокогнитивную функцию (n-функцию)*, между двумя акторами $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ и $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ как отображение:

$$n(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l}^{ijkl}): \alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl}, \forall \alpha_{uT_d}^{ijkd} \in \mathcal{Y}_{uT_d}^{ijkd}, \forall \alpha_{hT_l}^{ijkl} \in \mathcal{Y}_{hT_l}^{ijkl}, \alpha_{hT_l}^{ijkl} = \mathcal{Y}_{\alpha_{uT_d}^{ijkd}}^{\alpha_{hT_l}^{ijkl}}(\alpha_{uT_d}^{ijkd}),$$

$$\alpha_{uT_d}^{ijkd} \in P_{ijkdu}^{\delta ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\delta ijklh}, \alpha_{hT_l}^{ijkl} \in P_{ijkdu}^{\xi ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh},$$

$$\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh} \in \Sigma^\xi(\alpha_{uT_d}^{ijkd}), \zeta_{ijkduT_dq}^{\delta ijklh} \in \Sigma^\delta(\alpha_{hT_l}^{ijkl}), \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi \delta ijklhT_lw},$$

$$\zeta_{ijkduT_dq}^{\delta ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi \delta ijklhT_lw},$$

$$\mu^\xi(\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}) = \text{. ИСТИНА.}, \mu^\delta(\beta_{ijkdu}^{\delta ijklh}) = \text{. ИСТИНА.},$$

$$\mu^\xi(\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}) \in F_{ijkdu}^{\xi ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}, \mu^\delta(\beta_{ijkdu}^{\delta ijklh}) \in F_{ijkdu}^{\delta ijklh} \in \zeta_{ijkduT_dq}^{\delta ijklh},$$

$$\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh} = \beta^\xi(\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh}) \in F_{ijkdu}^{\xi ijklh}, \beta_{ijkdu}^{\delta ijklh} = \beta^\delta(\zeta_{ijkduT_dq}^{\delta ijklh}) \in F_{ijkdu}^{\delta ijklh}$$

Будем использовать также варианты записи:

$$\alpha_{hT_l}^{ijkl} = n(\alpha_{uT_d}^{ijkd}), \alpha_{hT_l}^{ijkl} = n(\alpha_{uT_d}^{ijkd}), \alpha_{hT_l}^{ijkl} = n_{\alpha_{uT_d}^{ijkd}}^{\alpha_{hT_l}^{ijkl}}(\alpha_{uT_d}^{ijkd}).$$

Определим *дендрос* $\Delta_{hT_l}^{ijkl}$ актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ как множество синапсов $\Delta_{hT_l}^{ijkl}$, в которых актор $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ участвует с помощью своих постсинаптических терминалей:

$$\Delta_{hT_l}^{ijkl} = \{\zeta_{ijkduT_dq}^{\xi \delta ijklhT_lw}, \forall \zeta_{ijkduT_dq}^{\xi ijklh} \in \Sigma^\delta(\alpha_{hT_l}^{ijkl})\}.$$

Определим функции активации $\psi(\alpha_{hT_l}^{ijkl})$ актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$:

$$\begin{aligned} \psi(\alpha_{hT_l}^{ijkl}): Y_{T_d c}^{ijkl} &\rightarrow Y_{T_l c}^{ijkl}, \forall y_{uT_d c}^{ijkl} \in Y_{T_d c}^{ijkl}, y_{uT_d c}^{ijkl} \in \Delta_{hT_l}^{ijkl}, \forall y_{hT_l c}^{ijkl} \in Y_{T_l c}^{ijkl}: \\ \psi(\alpha_{hT_l}^{ijkl}) &= \begin{cases} \text{. ИСТИНА.}, \eta_{ijkdu}^{ijklh} \geq \eta_{ijkdu}^{ijklhT}, \eta_{ijkdu}^{ijklh} \in [0,1] \\ \text{. ЛОЖЬ.}, \eta_{ijkdu}^{ijklh} < \eta_{ijkdu}^{ijklhT} \in [0,1] \end{cases}, \\ \eta_{ijkdu}^{ijklh} &= \frac{n^b(\Delta_{hT_l}^{ijkl})}{n(\Delta_{hT_l}^{ijkl})} \in [0,1], n^b(\Delta_{hT_l}^{ijkl}) = \\ &= \left| \left\{ \alpha_{uT_d}^{ijkl} \in \Delta_{hT_l}^{ijkl}, \mu^\xi(\beta_{ijkdu}^{\xi ijklh}) = \text{. ИСТИНА.}, \mu^\delta(\beta_{ijkdu}^{\delta ijklh}) = \text{. ИСТИНА.} \right\} \right|, \\ n(\Delta_{hT_l}^{ijkl}) &= |\Delta_{hT_l}^{ijkl}|. \end{aligned}$$

Здесь η_{ijkdu}^{ijklh} – коэффициент активации актора, а η_{ijkdu}^{ijklhT} – порог активации актора. Эти коэффициенты задают количество активных синапсов, входящих в дендрит актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$, срабатывание которых приводит к формированию и отправке тематического сообщения актора.

Зададим n-отображение для случая акторкогнитонов $K_{dT_d}^{ijk}$ и $K_{T_l}^{ijk}$:

$$\begin{aligned} n(K_{dT_d}^{ijk}, K_{T_l}^{ijk}): Y_{T_d}^{ijkl} &\rightarrow Y_{T_l}^{ijkl}, \forall y_{T_d c}^{ijkl} \in Y_{T_d}^{ijkl}, \forall y_{T_l c}^{ijkl} \in Y_{T_l}^{ijkl}, \forall \alpha_{hT_l}^{ijkl} \in Y_{hT_l c}^{ijkl} \in Y_{T_l c}^{ijkl}, \\ \psi(\alpha_{hT_l}^{ijkl}) = \text{. ИСТИНА.}, y_{T_l c}^{ijkl} &= \left\{ \bigcup y_{hT_l c}^{ijkl}, y_{hT_l c}^{ijkl} = n(y_{uT_d c}^{ijkl}) \right\}. \end{aligned}$$

Будем использовать также запись: $Y_{T_l}^{ijkl} = n_{K_{dT_d}^{ijk}}^{K_{T_l}^{ijk}}(Y_{T_d}^{ijkl})$.

С помощью введенных n-функций можно формально задать нейрокогнитивные архитектуры и описать процессы передачи сообщений между агентами в их составе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан формальный аппарат для описания мультиагентных нейрокогнитивных архитектур и процессов ситуативно-обусловленного роста и деградации ассоциативных связей в них, инспирированных процессами роста и деградации аксо-дендрональных связей в головном мозге человека.

Впервые введены понятия и даны формальные определения мультиагентных пространств, координат, осей, метрик, протоколов, диалогов, реплик и мультиреплик, функций нейрогенеза, пресинаптических и постсинаптически терминалей, коэффициентов корреляции и доверия, функций активации и доверия, синапсов, необходимые для записи и исчисления контрактов между актерами в составе когнитивных архитектур агнейронов.

Впервые введены нейрокогнитивные функции (отображения), описывающие процессы онтонейроморфогенеза в нейрокогнитивных архитектурах интеллектуальных агентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 235 с.

2. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63.

3. *Абазоков М. А., Анчехов М. И., Бжихатлов К. Ч., Курашев Ж. Х., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Унагасов А. А., Хамов А. А.* Анализ вычислительной трудоемкости федеративных алгоритмов нейрокогнитивного управления имитационными феногенетическими моделями растений (метаданные) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. № 5(121). С. 107–128.

4. *Нагоев З. В.* Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 64–71.

REFERENCES

1. Nagoev Z.V. *Intellectika, ili Myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectuals, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Publishing House of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. 235 p. (In Russian)

2. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. (In Russian)

3. Abazokov M.A., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Kurashov Zh.Kh., Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Unagasov A.A., Khamov A.A. Analysis of the Computational Complexity of Federation Algorithms for Neurocognitive Control of Simulation Phenogenetic Models of Plants (Metadata). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. No. 5(121). Pp. 107–128. (In Russian)

4. Nagoev Z. V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 64–71. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

вед. науч. сотр., Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-код: 6279-5857

Information about the author

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Engineering Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

Leading Researcher, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-code: 6279-5857