

Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур

И. А. Пшенокова^{1,2}, О. В. Нагоева², А. З. Апшев², А. З. Энес²

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

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

Аннотация. Перспективные интеллектуальные системы принятия решений должны обеспечивать построение причинно-следственных связей между событиями в условиях неопределенности, связанной с недостоверными и неполными знаниями, приводящей к невозможности предсказать точные последствия принятого решения при множестве вариантов выбора. В таких случаях очень важно учитывать корреляционную связь между причиной и следствием. Известно, что в основе причинно-следственного вывода лежит представление всех возможных альтернативных сценариев, которое позволяет планировать и манипулировать действиями в процессе принятия решений. В работе представлена имитационная модель формирования динамических причинно-следственных зависимостей для управления поведением автономного интеллектуального агента на основе нейрокогнитивных архитектур. Рассмотрены мультиакторная структура агентов событийного типа и процесс формирования причинно-следственных зависимостей путем заключения или расторжения мультиагентных контрактов. Проведен эксперимент по обучению автономного интеллектуального агента, прогнозированию последствий различных действий в текущих обстоятельствах.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, причинно-следственная связь, корреляция, мультиагентные системы, нейрокогнитивная архитектура

REFERENCE

1. Danks D. Unifying the mind: Cognitive representations as graphical models. MIT Press. 2014. 304 p.
2. Lake B.M., Ullman T.D., Tenenbaum J.B., Gershman S.J. Building machines that learn and think like people. *Behavioral and Brain Sciences*. 2017. Vol. 40. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0140525X16001837>

3. Pearl J., Mackenzie D. *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. Basic Books. 2018. 432 p.
4. Von Neumann J., Morgenstern O. *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press. 1944. 776 p.
5. Savage L. *The Foundations of Statistics*. New York: John Wiley & Sons. 1954. 310 p.
6. Bernardo J. M., Smith A. F. M. *Bayesian theory*. Wiley Series in Probability and Statistics. 2000. 608 p.
7. Gilboa I. *Theory of Decision under Uncertainty*. Cambridge University Press. 2009. 230 p.
8. Peterson M. *An Introduction to Decision Theory*. Cambridge University Press. 2017. 348 p.
9. Spirtes P., Glymour C. N., and Scheines R. *Causation, prediction, and search*. MIT press. 2000. 546 p.
10. Pearl J. Theoretical impediments to machine learning with seven sparks from the causal revolution. *Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining*. 2018. Vol. 3. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04016>
11. Woodward J. *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford Studies in Philosophy of Science. Oxford University Press. 2003. 432 p.
12. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*. 2010. Vol. 11(2). Pp. 127–138.
13. Hohwy J. *The predictive mind*. Oxford University Press. 2013. 288 p.
14. Clark A. *Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind*. Oxford University Press. 2015. 424 p.
15. Danks D. *Unifying the mind: Cognitive representations as graphical models*. MIT Press. 2014. 304 p.
16. Gonzalez-Soto L. E., Sucar H. J. Escalante Playing against Nature: causal discovery for decision making under uncertainty. *arXiv:1807.01268v1 [Artificial Intelligence (cs.AI)]*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.01268>
17. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Publishing House of KBSC of RAS. 2013. 213 p. (in Russian)
Нагоев З. В. Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. 213 с.
18. 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*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>.
19. Anokhin P.K. *Uzlovyye voprosy teorii funktsional'nykh sistem* [Key questions of the theory of functional systems]. Moscow: Science. 1980. 203 p. (in Russian)
Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. Москва: Наука, 1980. 203 с.
20. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Kankulov S. Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2131. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022103>
21. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. (in Russian)
Нагоев З. В. Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63.

22. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Kankulov S.A., Atalikov B.A., Airan A.A. Formal model of multi-agent search for the optimal plan of behavior of an intelligent agent based on self-organization of distributed neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 3(101). Pp. 21–31. DOI: [10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31](https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31) (in Russian)

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. DOI: [10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31](https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31)

Информация об авторах

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

вед. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Апшев Артур Заурбиевич, стажер-исследователь лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

artur.apshev@gmail.com

Энес Ахмед Зюлфикар, стажер-исследователь лаб. «Компьютерная лингвистика», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

ahmedenes@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>