

Применение мультиагентных методов при разработке СППР в медицине

Чернявский А. С.¹, Томилов И. В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Гусарова Н. Ф.¹

¹Университет ИТМО
chernyavskiy.as@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №1.21 «Исследование мультиагентного поведения больших фундаментальных моделей при работе в динамически изменяющейся среде».

Введение

Креативная активность в системе, состоящей из многих интеллектуальных агентов, взаимодействующих в общей среде, требует [1, 8] коллективного поведения, не присущего отдельным агентам. В частности, это подразумевает построение взаимной коммуникации или установления общих «конвенций» между агентами, позволяющих достичь их общей цели. Существует несколько подходов к определению таких конвенций, например, агентное моделирование [2, 3, 9] или рассмотрение явных протоколов обмена сообщениями [3, 5]. Мы заинтересованы в построении СППР в задачах медицины, нас интересует причинно-следственная связь на предмет влияния агентов друг на друга. Таким образом, возникает проблема изучения эффекта эмерджентности коммуникации [4] в кооперативной системе как основной движитель креативного поведения в медицинской мультиагентной системе. Для изучения протокола мы используем анализ системы из многих агентов как системы непрерывной во времени динамики [7], оценивая качество связей между агентами с помощью техники пробинга [4–6].

Основная часть

Методология исследования основывается на теории активного вывода (active inference [10]) и динамических систем (ОДУ с обратной связью [11]) для описания процесса возникновения коммуникации между агентами без непосредственного взаимодействия [8]. В процессе исследования мы доказываем математическую эквивалентность между максимизацией взаимной информации в коммуникационном канале и минимизацией совместной вариационной свободной энергии (VFE [10]). Также мы формализуем эволюцию СППР как интегрирование динамической системы со свободной энергией в роли потенциала.

Центральным элементом метода является доказательство того, что переход от хаотичного отсутствия коммуникации к устойчивому формированию конвенции представляет бифуркацию. Также мы математически сводим характер анализа коммуникации к анализу собственных чисел матрицы Якоби системы, что выводит на первый план не наличие обратной связи, а топологию ее устройства.

Выводы

Таким образом, при экспериментах мы сначала показали зарождения кооперативного поведения в системе из многих агентов как задачу минимизации её свободной энергии. Исследована устойчивость протоколов при изменении параметров системы. Данная работа позволит получать информацию о том, как агенты обмениваются информацией и на каком этапе они действуют сами по себе, что чрезвычайно важно [12] в требованиях автономности в СППР в медицине. Дальнейшая работа направлена на исследование взаимодействий агентов без явной пересылки сообщений.

Литература

1. Axelrod R., Hamilton W. D. The evolution of cooperation //science. – 1981. – Т. 211. – №. 4489. – С. 1390-1396.
2. Albrecht S. V., Stone P. Autonomous agents modelling other agents: A comprehensive survey and open problems //Artificial Intelligence. – 2018. – Т. 258. – С. 66-95.
3. Dorri A., Kanhere S. S., Jurdak R. Multi-agent systems: A survey //Ieee Access. – 2018. – Т. 6. – С. 28573-28593.
4. Karten S. Emergent Communication and Decision-Making in Multi-Agent Teams : дис. – Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA, 2023.
5. Choi K., Jung J., Watanabe S. Understanding probe behaviors through variational bounds of mutual information //ICASSP 2024-2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2024. – С. 5655-5659.
6. Tessera K. A. et al. Remembering the Markov Property in Cooperative MARL //arXiv preprint arXiv:2507.18333. – 2025.
7. Garcin S. et al. Studying the Interplay Between the Actor and Critic Representations in Reinforcement Learning //arXiv preprint arXiv:2503.06343. – 2025.
8. Gessler T. et al. Overcookedv2: Rethinking overcooked for zero-shot coordination //arXiv preprint arXiv:2503.17821. – 2025.
9. Albrecht S. V., Christianos F., Schäfer L. Multi-agent reinforcement learning: Foundations and modern approaches. – MIT Press, 2024.
10. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? //Nature reviews neuroscience. – 2010. – Т. 11. – №. 2. – С. 127-138.
11. Couthures A. et al. Bifurcation analysis of an opinion dynamics model coupled with an environmental dynamics //2025 IEEE 64th Conference on Decision and Control (CDC). – IEEE, 2025. – С. 3830-3835.
12. AbdelRaouf H. et al. Empowering AI-Driven Healthcare With Secure, Decentralized, and Privacy-Enhancing Adaptive Intelligence //IEEE Internet of Things Journal. – 2025.