

**Клиентоориентированные иерархические масштабируемые
мультиагентные структуры с локальными тендерными играми**

Кондрашов И.С.¹, Бацанова Е.А.¹, Томилов И.В.¹

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

¹Университет ИТМО

igorkondrasev19361@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР №15014 «Распределенные системы искусственного интеллекта для мультизадачной поддержки принятия решений в условиях неопределенности и неполноты данных».

Введение

Логистика первой и последней мили (First-Last Mile Logistics, FLML) — это тип логистической цепочки, широко распространенный в городах и предполагающий доставку посылок от клиента до сортировочного центра (логистика первой мили) и обратно (логистика последней мили) [1]. Это важнейшая социально-техническая задача, в решении которой участвуют граждане, выступающие в роли получателей услуг (клиентов) и сотрудников (курьеров) в условиях урбанистической экономики. Систему FLML целесообразно строить как многоагентную систему, ориентированную на граждан (Citizen-Centric MAS, C-MAS) [3], которая координирует действия децентрализованных участников системы. Сегодня наиболее распространенные подходы к построению многоагентных систем, как правило, имеют иерархическую структуру и ориентированы на взаимодействие на верхнем уровне рынка, где клиенты и курьеры редко рассматриваются как активные элементы системы [4, 5, 6, 7]. Шагом к учету интересов сотрудников, в частности их защиты в соответствии с местным трудовым законодательством, стали подходы, в которых курьеры системы FLML выступают в роли активных агентов, например, с помощью механизмов аукционов [1, 8, 9, 10]. Однако в работах [1] и [8] рассматриваются только теоретически тривиальные игры, которые редко встречаются в реальной системе FLML, в то время как в работе [9] учитываются только мягкие ограничения для штатных агентов, а в работе [10] не приводится аналитическое обоснование системы аукционов.

Основная часть

Мы формируем новый масштабируемый подход к многоагентному обучению с подкреплением (MARL) на задачах тендерных игр, основанный на оптимизации кумулятивной функции распределения (Cumulative Distribution Function, CDF) [11], и демонстрируем конвергенцию практически полученных результатов к теоретическим оптимальным функциям ответа. Предложенный фреймворк дает клиентам возможность управлять игрой и принять ли предложение победителя тендера или отклонить его. С другой стороны, курьеры, участвующие в тендерной игре, могут делать ставки, устанавливать нижнюю границу цены и разрабатывать уникальные стратегии, чтобы выиграть тендер и получить прибыль. Механизм трехсторонней тендерной игры обеспечивает положительное общественное благосостояние с точки зрения теории игр [12, 13] за счет нелинейного игрового механизма установления цен. Эксперимент выполнен в соответствии с моделями MARL, представленными в [14, 15].

Выводы

Практическое использование разработки возможно при тестировании тендерной микросистемы в любом приложении-агрегаторе краудсорсинговых

услуг FLML. Предполагается использование автономных рациональных предобученных агентов для выставления ставок без физического участия курьера. Тендерные игры проводятся в процессе выполнения курьером текущих заказов, а результаты выигранных задач транслируются в приложение-агрегатор в виде планового маршрута и награды за выполнение.

Литература

1. Y. Li, Y. Li, Y. Peng, X. Fu, J. Xu and M. Xu, "Auction-Based Crowdsourced First and Last Mile Logistics," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 1, pp. 180-193, Jan. 2024, doi: 10.1109/TMC.2022.3219881.
2. Rebollo, M., Giret, A., Carrascosa, C., Julian, V. (2018). The Multi-agent Layer of CALMeD SURF. In: Belardinelli, F., Argente, E. (eds) Multi-Agent Systems and Agreement Technologies. EUMAS AT 2017 2017. Lecture Notes in Computer Science(), vol 10767. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01713-2_31
3. Sebastian Stein and Vahid Yazdanpanah. 2023. Citizen-Centric Multiagent Systems: Blue Sky Ideas Track. In Proc. of the 22nd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2023), London, United Kingdom, May 29 – June 2, 2023, IFAAMAS, 6 pages. Author, F.: Contribution title. In: 9th International Proceedings on Proceedings, pp. 1–2. Publisher, Location (2010)
4. Silva, M.; Pedroso, J.P.; Viana, A. Deep reinforcement learning for stochastic last-mile delivery with crowdshipping. *EURO J. Transp. Logist.* **2023**, *12*, 100105.
5. Russo, F.; Comi, A. Urban Courier Delivery in a Smart City: The User Learning Process of Travel Costs Enhanced by Emerging Technologies. *Sustainability* **2023**, *15*, 6253.
6. Wang, L.; Xu, M.; Qin, H. Joint optimization of parcel allocation and crowd routing for crowdsourced last-mile delivery. *Transp. Res. Part B Methodol.* **2023**, *171*, 111–135.
7. S. D. Handoko, D. T. Nguyen and H. C. Lau, "An auction mechanism for the last-mile deliveries via urban consolidation centre," *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, New Taipei, Taiwan, 2014, pp. 607-612, doi: 10.1109/CoASE.2014.6899390.
8. Li, Yafei & Li, Yifei & Peng, Yun & fu, Xiaoyi & Xu, Jianliang & Xu, Mingliang. (2022). Auction-Based Crowdsourced First and Last Mile Logistics. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. PP. 1-13. 10.1109/TMC.2022.3219881.
9. Junqi Jin, Chengru Song, Han Li, Kun Gai, Jun Wang, Weinan Zhang. 2018. Real-Time Bidding with Multi-Agent Reinforcement Learning in Display Advertising. In 2018 ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '18), October, 2018, Torino, Italy
10. Zhang, Jincheng. (2025). MAS-Based Adaptive Cooperative Optimization Algorithm (MAS-ACOA). 10.5281/zenodo.17853096.
11. Narasimhan, Chakravarthi. "Competitive Promotional Strategies." *The Journal of Business* 61, no. 4 (1988): 427–49. <http://www.jstor.org/stable/2352790>.
12. Nguyen, Van & Huynh, Vuong & Duong, Ho & Bui, Huu & Ha, Hai & Le, Quang & Ngo, Le & Nguyen, Tan & Nguyen, Ngoc & Nguyen, Hoai & Song, Zhao & Trang, Le & Han, The Anh. (2025). Social welfare optimisation in well-mixed and structured populations. 10.48550/arXiv.2512.07453.
13. Geffner, Ivan & Oesterheld, Caspar & Conitzer, Vincent. (2025). Maximizing Social Welfare with Side Payments. 10.48550/arXiv.2508.07147.
14. Zhao J, Hu X, Yang M et al (2022b) Ctds: centralized teacher with decentralized student for multiagent reinforcement learning. *IEEE Trans Games* 16(1):140–150.
15. Yang Y., Wang J. An overview of multi-agent reinforcement learning from game theoretical perspective //arXiv preprint arXiv:2011.00583. – 2020.