

## Модификация алгоритма глубокого обучения для распределения функций и задач между робототехническим комплексом и человеком в условиях неопределенности и переменности окружающей среды

М. А. Шереужев<sup>✉1,2</sup>, У Го<sup>2</sup>, В. В. Серебряный<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»  
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана  
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, корп. 1

**Аннотация.** В реальном мире условия редко бывают стабильными, что требует от робототехнических комплексов (РТК) способности к адаптации в условиях неопределенности. Синергия человека и робота повышает производительность, однако для этого необходимы эффективные методы распределения задач, учитывающие особенности обеих сторон. Целью работы является определение оптимальных стратегий распределения задач между людьми и РТК и адаптивное управление РТК в условиях неопределенности и изменяющейся среды. Методы исследования. В работе предложен графовый подход к распределению задач, основанный на возможностях человека и робота. В алгоритм обучения с подкреплением встроен механизм памяти LSTM (Long short-term memory) для решения проблемы частичной наблюдаемости, вызванной неточностью измерений сенсоров и шумом окружающей среды. Метод HER (Hindsight Experience Replay) применен для преодоления проблемы скудных вознаграждений. Результаты. Обученная модель продемонстрировала стабильную сходимость, достигая высокого уровня успешности манипуляции объектами. Интеграция методов LSTM и HER в обучение с подкреплением позволяет успешно решать вопросы распределения задач между человеком и роботом в условиях неопределенности и изменяющейся среды. Предложенный метод можно применять в различных сценариях для РТК в сложных и изменяющихся условиях.

**Ключевые слова:** взаимодействие человека и робота, адаптивный алгоритм управления, распределение задач, обучение с подкреплением

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fiore M., Clodic A., Alami R. On planning and task achievement modalities for human-robot collaboration. In *Experimental Robotics: The 14<sup>th</sup> International Symposium on Experimental Robotics*. Marrakech, Morocco: Springer. 2016. Pp. 293–306.
2. Ghadirzadeh A., Chen X., Yin W. et al. Human-centered collaborative robots with deep reinforcement learning. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020. Vol. 6(2). Pp. 566–571. DOI: 10.48550/arXiv.2007.01009
3. Qureshi A.H., Nakamura Y., Yoshikawa Y., Ishiguro H. Robot gains social intelligence through multimodal deep reinforcement learning. In *IEEE-RAS. 16<sup>th</sup> International Conference on Humanoid Robots (humanoids)*. 2016. Pp. 745–751. DOI: 10.48550/arXiv.1702.07492
4. Kwok Y.K., Ahmad I. Static scheduling algorithms for allocating directed task graphs to multiprocessors. *ACM Computing Surveys*. 1999. Vol. 31(4). Pp. 406–471. DOI: 10.1145/344588.344618
5. Malik A.A., Bilberg A. Complexity-based task allocation in human-robot collaborative assembly. *Industrial Robot: International Journal of Robotics Research and Application*. 2019. Vol. 46(4). Pp. 471–480. DOI: 10.1108/IR-11-2018-0231

6. Lucignano L., Cutugno F., Rossi S., Finzi A. A dialogue system for multimodal human-robot interaction. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> ACM on International Conference on Multimodal Interaction*. 2013. Pp. 197–204. DOI: 10.1145/2522848.2522873
7. Qiu C., Hu Y., Chen Y., Zeng B. Deep deterministic policy gradient (DDPG)-based energy harvesting wireless communications. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. Vol. 6(5). Pp. 8577–8588. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2921159
8. Hochreiter S. Long Short-term Memory. Neural Computation MIT-Press. 1997.
9. Andrychowicz M., Wolski F., Ray A. et al. Hindsight experience replay. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30.
10. Towers M., Kwiatkowski A., Terry J. et al. Gymnasium: A standard interface for reinforcement learning environments. *arXiv:2407.17032*. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2407.17032

### **Информация об авторах**

**Шереужев Мадин Артурович**, кан. тех. наук, мл. науч. сотр., Центр когнитивных технологий и систем технического зрения, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

старший преподаватель, кафедра «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5, корп. 1;

[m.shereuzhev@stankin.ru](mailto:m.shereuzhev@stankin.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2352-992X>; SPIN-код: 1734-9056

**У Го**, аспирант кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5, корп. 1;

[ug@student.bmstu.ru](mailto:ug@student.bmstu.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8424-4421>; SPIN-код: 9189-9658

**Серебранный Владимир Валерьевич**, кан. тех. наук, доцент, зав. кафедрой «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5, корп. 1;

[vsereb@bmstu.ru](mailto:vsereb@bmstu.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1182-2117>, SPIN-код: 5410-8433