

УДК 004.5+004.021

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-21-32

EDN: SIGNEO

Научная статья

Подход к распределению работ в коллаборативной робототехнической системе с учетом модели рабочего пространства и динамического переназначения исполнителей*

Р. Р. Галин, С. Б. Галина, М. В. Мамченко

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук
117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65

Аннотация. В работе сформирован ряд предложений по совершенствованию разработанного алгоритма для распределения работ в коллаборативной робототехнической системе (КРТС) и назначения участников КРТС на выполнение операций технологического процесса. Реализован учет пространственной модели рабочего пространства (размещения рабочих мест), изменения объекта воздействия (изделия) и использования дополнительных ресурсов, случайного поведения и ошибок людей, накопления усталости и снижения эффективности их работы со временем, а также динамического переназначения участников КРТС на выполнение операции в случае внезапного выхода из строя робота или потери трудоспособности человеком. Также предложен модифицированный алгоритм минимизации целевой функции (решения оптимизационной задачи) на этапе подбора состава и назначения исполнителей на выполнение операции, учитывающий значения эффективности доступных участников КРТС и минимизирующий их состав.

Ключевые слова: коллаборативная робототехническая система, человеко-машинное взаимодействие, распределение работ, операция, технологический процесс

Поступила 27.11.2023, одобрена после рецензирования 29.11.2023, принята к публикации 04.12.2023

Для цитирования. Галин Р. Р., Галина С. Б., Мамченко М. В. Подход к распределению работ в коллаборативной робототехнической системе с учетом модели рабочего пространства и динамического переназначения исполнителей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 21–32. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-21-32

MSC: 93C85, 65K10

REFERENCES

1. Chatzisavvas A., Chatzitoulousis P., Ziouzos D., Dasygenis M. A routing and task-allocation algorithm for robotic groups in warehouse environments. *Information*. 2022. Vol. 13. No. 6. Pp. 1–14. DOI: 10.3390/info13060288
2. Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Павлов А. С., Гурчинский М. М. Метод распределения и планирования выполнения задач агентами роевых робототехнических систем в условиях недетерминированной среды // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2022. 3(59). С. 25–43. DOI: 10.54398/20741707_2022_3_25
3. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Pavlov A.S., Gurchinskiy M.M. Method of tasks distribution and planning for agents of swarm robotic systems in non-deterministic environment. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: management and high technology]. 2022. Vol. 3(59). Pp. 25–43. (In Russian)
3. Faccio M., Granata I., Minto R. Task allocation model for human-robot collaboration with *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН № 6(116) 2023*

variable cobot speed. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023. Pp. 1–14. DOI: 10.1007/s10845-023-02073-9

4. Aziz H., Pal A., Pourmiri A., Ramezani F., Sims B. Task Allocation Using a Team of Robots. *Current Robotics Reports*. 2022. 3. Pp. 227–238. DOI: 10.1007/s43154-022-00087-4

5. Галина С. Б., Мамченко М. В., Галин Р. Р. Результаты исследования распределения работ в коллаборативной робототехнической системе с минимизацией их времени выполнения // Труды 8-й международной научно-практической конференции «Научно-инновационные исследования и разработки». Саратов: Цифровая наука, 2022. С. 20–29.

Galina S.B., Mamchenko M.V., Galin R.R. Results of the research on the allocation of tasks in a collaborative robotic system with minimization of their execution time. *Trudy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Nauchno-innovacionnyye issledovaniya i razrabotki"*. Saratov: Cifrovaya nauka, 2022. Pp. 20–29. (In Russian)

6. Galin R., Meshcheryakov R., Mamchenko M. Simple Task Allocation Algorithm in a Collaborative Robotic System. *Frontiers in Robotics and Electromechanics. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2023. 329. Pp. 433–447. DOI: 10.1007/978-981-19-7685-8_28

7. Galin R.R., Galina S.B. Approach to Efficient Task Allocation in a Collaborative Robotic System Using Modified Cost Functions. *2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) / South Ural IEEE Chapter*. Sochi, 2023. Pp. 568–573. DOI: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110787

8. Yaacoub A., Thomas V., Colas F., Maurice P. A Probabilistic Model for Cobot Decision Making to Mitigate Human Fatigue in Repetitive Co-Manipulation Tasks. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2023. 8. 11. Pp. 7352–7359. DOI: 10.1109/LRA.2023.3315583

9. Buerkle A., Al-Yacoub A., Eaton W., et al. An Incremental Learning Approach to Detect Muscular Fatigue in Human–Robot Collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2023. 53. 3. Pp. 520–528. DOI: 10.1109/THMS.2023.3259139

10. Gervasi R., Capponi M., Mastrogiacomo L., Franceschini F. Analyzing psychophysical state and cognitive performance in human-robot collaboration for repetitive assembly processes. *Production Engineering*. 2023. Pp. 1–15. DOI: 10.1007/s11740-023-01230-6

11. Lippi M., Marino A. A mixed-integer linear programming formulation for human multi-robot task allocation. *2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN) / IEEE*. Vancouver, 2021. Pp. 1017–1023. DOI: 10.1109/RO-MAN50785.2021.9515362

12. Mina T., Kannan S.S., Jo W., Min B.-C. Adaptive workload allocation for multi-human multi-robot teams for independent and homogeneous tasks. *IEEE Access*. 2020. 8. Pp. 152697–152712. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3017659

13. Fusaro F., Lamon E., Momi E.D., Ajoudani A. An integrated dynamic method for allocating roles and planning tasks for mixed human-robot teams. *2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN) / IEEE*. Vancouver, 2021. Pp. 534–539. DOI: 10.1109/RO-MAN50785.2021.9515500

14. Lee M.-L., Behdad S., Liang X., Zheng M. Task allocation and planning for product disassembly with human–robot collaboration. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2022. 76(2). 102306. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.rcim.2021.102306

15. Noormohammadi-Asl A., Ayub A., Smith S.L., Dautenhahn K. Task Selection and Planning in Human-Robot Collaborative Processes: To be a Leader or a Follower? *2022 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) / IEEE*.

Napoli, 2022. Pp. 1244–1251. DOI: 10.1109/RO-MAN53752.2022.9900770

16. Jung Y., Kim H., Suh K.D., Park J.M. Human-Centered Dynamic Service Scheduling Approach in Multi-Agent Environments. *Applied Sciences*. 2022. 12(21). 10850. Pp. 1–18. DOI: 10.3390/app122110850

17. Zhang F., Zhang Y., Xu S. Collaboration effectiveness-based complex operations allocation strategy towards to human–robot interaction. *Autonomous Intelligent Systems*. 2022. 2:20. 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s43684-022-00039-x

18. Rahman S.M.M., Wang Y. Mutual trust-based subtask allocation for human–robot collaboration in flexible lightweight assembly in manufacturing. *Mechatronics*. 2018. No. 54. Pp. 94–109. DOI: 10.1016/j.mechatronics.2018.07.007

Информация об авторах

Галин Ринат Романович, канд. техн. наук, науч. сотр. лаборатории № 80 «Киберфизические системы» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук; 117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65; grr@ipu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6429-7868>

Галина Сания Болаткызы, мл. науч. сотр. лаборатории № 80 «Киберфизические системы» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук; 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65; ksb@ipu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5242-0996>

Мамченко Марк Владиславович, науч. сотр. лаборатории № 80 «Киберфизические системы» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук; 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65; markmamcha@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-9786>