

Модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в роевых робототехнических системах

В. И. Петренко, Ф. Б. Тебуева, А. С. Павлов, М. М. Гурчинский

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Северо-Кавказский федеральный университет»

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Аннотация. Применение роевых робототехнических систем (РРТС) в условиях неопределенности актуализирует вопросы разработки соответствующих моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач. Под условиями неопределенности понимается неполнота информационного обеспечения агентов РРТС о работоспособности других агентов и статусе выполнения назначенных им задач. Цель исследования: разработка моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС в условиях неопределенности с учетом ограниченных возможностей агентов РРТС и специфики децентрализованного управления. Для достижения цели были использованы методы системного анализа, теории графов, теории распределенного реестра. Методы: в работе предложены следующие новые критерии оценки эффективности: критерий доли решенных задач, критерий осведомленности РРТС обо всех задачах, критерий частоты формирования управляющих воздействий. Элементом новизны представленных моделей описания и критериев оценки эффективности является учет общего киберфизического пространства РРТС в процессе принятия решения о выборе той или иной задачи для дальнейшего выполнения в условиях неопределенности. Результаты: предложенные модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС на основе общего киберфизического пространства обеспечивают более точную оценку эффективности выполнения глобальной задачи при функционировании в условиях неопределенности по сравнению с существующими решениями.

Ключевые слова: роевые робототехнические системы, киберфизические системы, распределение задач, планирование задач, распределенный реестр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cho J., Lim G., Biobaku T., Kim S., Parsaei H.* Safety and Security Management with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Oil and Gas Industry // *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 3. Pp. 1343–1349.
2. *Васильев И. А., Половко С. А., Смирнова Е. Ю.* Организация группового управления мобильными роботами для задач специальной робототехники // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2013. № 1(164). С. 119–123.

3. Dai W., Lu H., Xiao J., Zeng Z., Zheng Z. Multi-Robot Dynamic Task Allocation for Exploration and Destruction // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2020. Vol. 98. No. 5. Pp. 455-479. DOI: 10.1007/s10846-019-01081-3.

4. Ismail Z. H., Mohd G.M. H. Systematic Literature Review of Swarm Robotics Strategies Applied to Target Search Problem with Environment Constraints // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No. 5. Pp. 1–6.

5. Khamis A., Hussein A., Elmogy A. Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art // Cooperative Robots and Sensor Networks. 2015. P. 31–51.

6. Пилюхов В. Х., Медведев М. Ю. Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // Труды СПИИРАН. 2018. Т. 60. № 5. С. 39–63.

7. Petrenko V. I., Tebueva F. B., Ryabtsev S. S., Gurchinsky M. M., Struchkov I. V. Consensus achievement method for a robotic swarm about the most frequently feature of an environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. No. 4. Pp. 1–6.

8. Yusupova N., Rizvanov D., Andrushko D. Cyber-Physical Systems and Reliability Issues // Proceedings of the 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020). Atlantis Press, 2020. Pp. 133–137.

9. Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Гурчинский М. М., Рябцев С. С. Анализ технологий обеспечения информационной безопасности мультиагентных робототехнических систем с роевым интеллектом // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 4(106). С. 96–99.

10. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Москва: Физматлит, 2009. 280 с.

11. Mahmoud Zadeh S., Powers D.M. W., Bairam Zadeh R. State-of-the-Art in UAVs' Autonomous Mission Planning and Task Managing Approach // Autonomy and Unmanned Vehicles: Augmented Reactive Mission and Motion Planning Architecture. Singapore: Springer Singapore. 2019. Pp. 17–30.

12. Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Павлов А. С., Стручков И. В. Анализ рисков нарушения информационной безопасности в роевых робототехнических системах при масштабировании численности агентов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2022. № 2. С. 92–109.

13. Sujit P.B., Kingston D., Beard R. Cooperative forest fire monitoring using multiple UAVs // Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control. 2007. Pp. 4875–4880.

14. Kalyaev I., Kapustyan S., Ivanov D., Korovin I., Usachev L., Schaefer G. A novel method for distribution of goals among UAVs for oil field monitoring // 2017 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision and 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology, ICIEV-ISCMHT 2017. 2017. Pp. 1–4.

15. Chen X., Zhang P., Li F., Du G. A cluster first strategy for distributed multi-robot task allocation problem with time constraints // 2018 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA). 2018. Pp. 102–107.

16. *Пишихов В. Х.* Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах. Москва: Физматлит, 2015. 305 с.

17. *Еськов С. С.* Специальное математическое и программное обеспечение взаимного информационного согласования в системах распределенного реестра: дис. ... канд. техн. наук. Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2020. 120 с.

18. *Запечников С. В.* Системы распределенного реестра как инструмент обеспечения доверия между участниками бизнес-процессов // Безопасность информационных технологий. 2019. Т. 26. № 4. С. 37–53.

19. *Сыряжкин В. И.* Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / под ред. В. И. Сыряжкина. Томск: STT, 2018. 140 с.

20. *Жуков А. О., Куликов А. К., Суrowцева И. В.* Распределение задач в группе гетерогенных роботов на основе принципа «аукциона Викри» // Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 4(21). С. 36–40.

21. *Motes J., Sandström R., Lee H., Thomas S., Amato N.M.* Multi-Robot Task and Motion Planning With Subtask Dependencies // IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. Vol. 5. No. 2. Pp. 3338–3345.

22. *Schneider E., Sklar E.I., Parsons S.* Mechanism selection for multi-robot task allocation // Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems. 2017. Pp. 421–435.

23. *Luo L., Chakraborty N., Sycara K.* Distributed algorithms for multirobot task assignment with task deadline constraints // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2015. Vol. 12. No. 3. Pp. 876–888.

24. *Seenu N., Kuppan Chetty R.M., Ramya M.M., Janardhanan M.N.* Review on state-of-the-art dynamic task allocation strategies for multiple-robot systems // Industrial Robot. 2020. Vol. 47. No. 6. Pp. 929–942.

25. *Безумнов Д. Н., Воронова Л. И.* О распределении задач в групповой робототехнике. Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: монография. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 155–170.

Информация об авторах

Петренко Вячеслав Иванович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой организации и технологии защиты информации, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

vip.petrenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4293-7013>

Тебуева Фариза Биляловна, д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой компьютерной безопасности, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

fbtebueva@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7373-4692>

Павлов Андрей Сергеевич, ст. преподаватель кафедры компьютерной безопасности, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

losde5530@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8413-8706>

Гурчинский Михаил Михайлович, программист учебно-научной лаборатории «Робототехнические системы», Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

gurcmikhail@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1739-2624>