УДК 004.896

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУПП МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

♦♦♦♦♦

MODERN APPROACHES TO ORGANIZING THE INTERACTION OF GROUPS OF MOBILE ROBOTS IN MULTI-AGENT CONTROL SYSTEMS

Алексеев Дмитрий Александрович
ассистент кафедры информатики
и вычислительной техники,
факультет информационных технологий
и кибербезопасности,
Кубанский государственный технологический университет
1qazwsxedc2001@gmail.com

Дьяченко Роман Александрович
доктор технических наук,
доцент,
профессор кафедры информатики
и вычислительной техники,
факультет информационных технологий
и кибербезопасности
Кубанский государственный технологический университет
djachenko.roman@kubstu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к организации взаимодействия групп мобильных роботов. Проведен анализ централизованных, децентрализованных и распределенных методов управления, используемых в мультиагентных робототехнических системах. Выявлены основные преимущества и недостатки различных архитектур взаимодействия. Показано, что распределенные методы обеспечивают высокую устойчивость и масштабируемость робототехнических комплексов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке систем коллективного управления роботами.

Ключевые слова: мобильные роботы, мультиагентные системы, коллективное управление, взаимодействие роботов, распределенные системы, робототехника, математическое моделирование.

Alekseev Dmitry Aleksandrovich
Assistant Professor of the Department
of Computer Science and Engineering,
Faculty of Information Technology
and Cybersecurity,
Kuban State Technological University
1qazwsxedc2001@gmail.com

Djachenko Roman Aleksandrovich
Doctor of Engineering Sciences,
Associate Professor,
Professor of the Department
of Computer Science and Engineering,
Faculty of Information Technology
and Cybersecurity,
Kuban State Technological University
djachenko.roman@kubstu.ru

Annotation. This article examines modern approaches to organizing interaction between groups of mobile robots. An analysis of centralized, decentralized, and distributed control methods used in multi-agent robotic systems is conducted. The main advantages and disadvantages of various interaction architectures are identified. Distributed methods are shown to ensure high stability and scalability of robotic systems. The results of this study can be used in the development of collective robot control systems.

Keywords: mobile robots, multi-agent systems, collective control, robot interaction, distributed systems, robotics, mathematical modeling.

Развитие робототехнических технологий способствует расширению применения групп мобильных роботов в различных сферах деятельности. Коллективные робототехнические системы используются в логистике, промышленности, мониторинге территорий, сельском хозяйстве и поисково-спасательных операциях. Совместная работа роботов позволяет повысить производительность, надежность и эффективность выполнения задач. Для достижения согласованности действий необходимо организовать устойчивое взаимодействие между агентами и обеспечить обмен информацией в режиме реального времени [1]. Наиболее распространенными являются централизованные, децентрализованные и распределенные методы управления. Каждый из подходов обладает собственными особенностями, преимуществами и ограничениями [2]. Целью исследования является анализ современных методов взаимодействия групп мобильных роботов и оценка их эффективности по основным эксплуатационным критериям.

В качестве методологической основы исследования использовались методы системного анализа, математического моделирования и теория графов. Группа роботов рассматривалась как совокупность взаимодействующих агентов, объединенных ком-

муникационной сетью. В работе проанализированы три основных подхода к организации взаимодействия: централизованный, децентрализованный и распределенный. Для их сравнения использовались критерии устойчивости, масштабируемости, отказоустойчивости, вычислительной сложности и эффективности информационного обмена. Сравнительный анализ позволил определить особенности каждого метода управления и оценить перспективы их применения в современных робототехнических системах [3–5].

Проведенный анализ показал, что эффективность группы мобильных роботов во многом зависит от архитектуры взаимодействия между агентами. Централизованные методы обеспечивают высокий уровень координации благодаря единому управляющему центру, однако характеризуются ограниченной масштабируемостью и низкой отказоустойчивостью. При увеличении количества роботов возрастает нагрузка на центральный узел управления. Децентрализованные методы позволяют распределить функции управления между несколькими координаторами, что снижает вычислительную нагрузку и повышает надежность системы [6]. Однако эффективность работы остается зависимой от состояния управляющих узлов. Наиболее перспективными являются распределенные методы взаимодействия. Они основаны на локальном обмене информацией между роботами и обеспечивают высокую устойчивость системы к отказам отдельных элементов, а также возможность эффективного масштабирования [7].

Таблица 1 – Особенности применения методов взаимодействия групп мобильных роботов

Характеристика	Централизованный подход	Децентрализованный подход	Распределенный подход
Принцип управления	Управление осуществляется единым центром	Управление распределено между несколькими координаторами	Каждый робот принимает решения самостоятельно
Организация обмена данными	Через центральный узел	Через локальные управляющие узлы	Между соседними роботами
Надежность системы	Снижается при отказе центра	Умеренная	Высокая
Возможность расширения группы	Ограниченная	Средняя	Высокая
Скорость принятия решений	Высокая при малом числе роботов	Средняя	Зависит от структуры сети
Основные области применения	Производственные линии, автоматизированные комплексы	Складская логистика, транспортные системы	Роевые системы, мониторинг территорий, поисково-спасательные операции

Данные таблицы показывают, что выбор метода взаимодействия определяется условиями эксплуатации робототехнической системы и требованиями к надежности, автономности и масштабируемости. Для небольших групп роботов эффективны централизованные методы управления, тогда как при увеличении числа агентов более предпочтительными становятся распределенные подходы.

Результаты исследования подтверждают тенденцию перехода к распределенным системам управления в коллективной робототехнике. Централизованные методы эффективны для небольших групп роботов, однако их применение ограничивается проблемой единой точки отказа. Децентрализованные подходы позволяют повысить надежность управления, но сохраняют зависимость от отдельных координаторов. Распределенные методы обеспечивают высокий уровень автономности, устойчивости и адаптивности системы, что делает их наиболее перспективными для создания крупных робототехнических комплексов.

В работе проведен анализ современных методов взаимодействия групп мобильных роботов. Рассмотрены централизованные, децентрализованные и распреде-

ленные подходы к организации коллективного управления. Установлено, что распределенные методы обладают наибольшей устойчивостью, масштабируемостью и отказоустойчивостью по сравнению с другими архитектурами. Их использование позволяет повысить эффективность функционирования робототехнических систем в условиях неопределенности и ограниченных коммуникационных ресурсов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании мультиагентных систем управления и разработке перспективных робототехнических комплексов различного назначения.

Литература

1. Интеллектуальное планирование стратегий и управление группой мобильных роботов в условиях неполноты информации / И.В. Бычков [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 1(231). – С. 170–184.
2. Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / В.С. Боровик [и др.]. – Томск : Общество с ограниченной ответственностью «СТТ», 2018. – 140 с.
3. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / А.В. Инзарцев [и др.]; Отв. ред. Л.В. Киселев. – Владивосток : Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2018. – 368 с.
4. Самоорганизация и искусственный интеллект в группах автономных роботов: методология, теория, практика : колл. монография / Под ред. О.Н. Граничина, С.Ф. Сергеева. – СПб. : ООО «Издательство ВВМ», 2020. – 125 с.
5. Специфика архитектуры цифрового двойника коллаборативного роботизированного процесса на базе мультиагентных систем / М.А. Горькавый [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 147–156.
6. Фундаментальные проблемы группового взаимодействия роботов : Материалы отчетного мероприятия РФФИ по конкурсу «офи-м» (тема 604) в рамках Международной научно-практической конференции, Волгоград, 09–11 октября 2018 года. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 48 с.
7. Юдинцев Б.С. Синтез нейросетевой системы планирования траекторий для группы мобильных роботов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 163–186.

References

1. Intelligent planning of strategies and control of a group of mobile robots under conditions of incomplete information / I.V. Bychkov [et al.] // Bulletin of SFedU. Technical sciences. – 2023. –№ 1 (231). – P. 170–184.
2. Teams of intelligent robots. Areas of application / V.S. Borovik [et al.]. – Tomsk : Limited Liability Company «STT», 2018. – 140 p.
3. Underwater robotic systems: systems, technologies, application / A.V. Inzartsev [et al.]; Editor-in-chief L.V. Kiselev. – Vladivostok : Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. – 368 p.
4. Self-organization and artificial intelligence in groups of autonomous robots: methodology, theory, practice : collective monograph / Edited by O.N. Granichin, S.F. Sergeev. – SPb. : OOO «VVM Publishing House», 2020. – 125 p.
5. Specifics of the architecture of the digital twin of a collaborative robotic process based on multi-agent systems / M.A. Gorkavy, A. I. Gorkavy, V. A. Soloviev [et al.] // Bulletin of Tula State University. Technical Sciences. – 2022. – № 4. – P. 147–156.
6. Fundamental Problems of Group Interaction of Robots: Proceedings of the reporting event of the Russian Foundation for Basic Research for the «ofi-m» competition (topic 604) within the framework of the International scientific and practical conference, Volgograd, October 9–11, 2018. – Volgograd : Volgograd State Technical University, 2018. – 48 p.
7. Yudintsev B.S. Synthesis of a Neural Network Trajectory Planning System for a Group of Mobile Robots // Control, Communications and Security Systems. – 2019. – № 4. – P. 163–186.