

УПРАВЛЕНИЕ СМЕШАННОЙ НЕОДНОРОДНОЙ КОМАНДОЙ В КОЛЛАБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Галин Р. Р.¹, Камешева С. Б.², Исхакова А. О.³,
Широков А. С.⁴

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

В рамках представленного материала рассмотрены аспекты функционирования и формирования робототехнических систем на примере взаимодействия человека и робота в коллаборативной робототехнике. Проведен обзор общих принципов построения многоагентных робототехнических систем. Определена стратегия группового управления, включающая в себя взаимосвязанные центральное и местные устройства управления. Приведены правомерные суждения о возможности формирования смешанной неоднородной команды, в состав которой входят люди и коллаборативные роботы. Рассмотрены аспекты информационной безопасности группы агентов в рамках робототехнической системы. Определены механизмы обеспечения безопасной передачи информации в процессе взаимодействия агентов для корректного и эффективного функционирования группы роботов. Предложена постановка задачи частного случая формирования смешанной неоднородной команды, где затраты членов команды на выполнение единичного объема работ зависят от назначенного им объема и от эффективности выполнения соответствующей функции конкретным членом команды. При формировании смешанной неоднородной команды учитывалась специфика, включающая два вида членов различной природы и требующая учета различных расширений и ограничений, к которым относятся: разные виды функций затрат, ограниченная активность членов команды – роботов, зависимость затрат членов команды.

Ключевые слова: коллаборативная робототехническая система, смешанная команда, взаимодействие человека и робота, информационная безопасность.

1. Введение

Новым этапом как в развитии робототехники, так и в подходах к решению вопросов группового управления считается

¹ Ринат Романович Галин, н.с. (grr@ipu.ru).

² Саня Болаткызы Камешева, м.н.с. (ksb@ipu.ru).

³ Анастасия Олеговна Исхакова, к.т.н., с.н.с. (iao@ipu.ru).

⁴ Александр Сергеевич Широков, инженер (as.shirokov@yandex.ru).

переход к взаимодействию человека и робота – так называемому коллаборативному взаимодействию. По мере развития технологий искусственного интеллекта и интеллектуализации робототехники появилась задача проектирования эффективных систем типа «человек – робот». Основная цель такой системы заключается в наилучшем сочетании когнитивных способностей человека и уникальных возможностей интеллектуальных роботов для создания интеллектуальных смешанных неоднородных команд, адаптирующихся к быстро меняющимся обстоятельствам.

С 2016 года DARPA реализует проект Agile Teams (A-Teams), целью которого является обнаружение, тестирование и демонстрация прогностических и обобщаемых математических методов для оптимизации проектирования гибких неоднородных команд [11]. Проект A-Teams нацелен на разработку новой парадигмы проектирования человеко-интеллектуальных технических систем, изменив фокус с простого использования роботов для автоматизации и замены человеческого потенциала на интегрированную структуру, позволяющую решать коллективные задачи.

Человек и коллаборативные роботы, взаимодействуя в едином рабочем пространстве для выполнения единой глобальной целевой задачи, формируют коллаборативную робототехническую систему. На основе получаемых при взаимодействии участников данных коллаборативные роботы должны выполнять поставленную задачу без рисков нанесения вреда человеку и снижения эффективности производственных процессов. Задача по достижению группой участников коллаборативной робототехнической системы с определенной степенью автономности единой цели может быть решена с применением технологий многоагентных систем [8].

2. Общие принципы построения многоагентных робототехнических систем

Многоагентные системы представляют собой некоторое множество интеллектуальных агентов, взаимодействующих

друг с другом, учитывая взаимное влияние со стороны внешней среды [14]. При рассмотрении робототехнических систем в качестве агента выступают роботы [7]. Ключевыми аспектами интеллектуальных агентов являются целенаправленность и автономность, связанная с действиями на основе целенаправленных проблемно-ориентированных рассуждений. Интеллектуальные агенты классифицируются на натуральные и искусственные [12].

Определение стратегии группового управления является важным этапом проектирования робототехнической системы. При использовании различных стратегий группового управления по отношению к поставленной глобальной цели следует учитывать рассматриваемое количество участников робототехнической системы. При небольшом количестве участников в группе использование централизованной стратегии является наиболее эффективным подходом, но с ростом числа элементов робототехнической системы время для нахождения решения задачи группового управления растет линейно [1, 9]. В децентрализованной стратегии центр управления отсутствует, а распределение задач и обработка информации происходят в процессе взаимодействия участников системы. Однако, в зависимости от условий функционирования систем, лучшую эффективность могут показать смешанные (гибридные) стратегии управления, представляющие собой комбинацию двух вышеуказанных стратегий.

Наиболее гибкой и надежной является гибридное управление, включающее в себя взаимосвязанные центральное и местные устройства управления.

2.1. СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В коллаборативных робототехнических системах в качестве интеллектуальных агентов выступают коллаборативные роботы и люди (рассматриваются функциональные операции). Ключевыми свойствами таких агентов являются целенаправленность, связанная с действиями на основе целенаправленных проблемно-ориентированных рассуждений. Более подробно понятие интеллектуального агента раскрыто в работах [2, 13].

Свойства, которыми обладают участники коллаборативной робототехнической системы, характеризуют понятие «команды» [10]. Таким образом, правомерно рассуждать о смешанной неоднородной команде в рамках коллаборативной робототехнической системы. Специфика рассматриваемых смешанных неоднородных команд требует таких постановок задач, где учитываются дополнительные факторы и ограничения, которые несвойственны человеческим командам.

В смешанной неоднородной команде участники действуют в соответствии с принципами коллективного управления, а метод управления принимается как метод коллективного распределения задач [3].

2.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ИНФОКОММУНИКАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ АГЕНТАМИ

В условиях повсеместного распространения устройств интернета вещей, робототехнических комплексов и повышения квалификации злоумышленников требуется в том числе обеспечивать механизмы от непреднамеренных и преднамеренных угроз информационной безопасности.

Коллективное управление заключается в том, что в группе из n агентов каждый агент группы обладает собственной системой управления, которая отвечает за действия данного агента. Эти системы объединены общим каналом связи. Обмен информацией осуществляется между агентами, и на основании полученных данных агенты-роботы оптимизируют свои действия.

Для корректного и эффективного функционирования робототехнической системы, подчиняющейся комбинированной стратегии управления, необходимо обеспечить безопасность передачи информации по каналу связи. Обеспечение безопасности в робототехнических системах может быть реализовано с использованием «жесткого» и «мягкого» механизма. В частности, для обеспечения мягкой безопасности может быть использован метод доверительного кредита, подразумевающий регламентирование объема передаваемой информации в единицу времени [4].

Жесткие механизмы обеспечения безопасности связаны с шифрованием каналов связи с открытым ключом, использованием мобильной криптографии, авторизацией агентов. Мягкие механизмы обеспечения безопасности связаны с разработкой доверительных моделей взаимодействия объектов робототехнической системы [5].

Особое внимание уделяется целостности передаваемой информации при взаимодействии агентов-роботов в системе. Следует учитывать диверсионные воздействия на агентов с целью передачи неполной информации, что повлияет на эффективность работы группы роботов робототехнической системы. Неполнота передаваемой информации может содержать частичные данные об окружающей среде и/или состоянии агента. Задача обеспечения безопасности инфокоммуникационного взаимодействия агентов заключается в поиске эффективных методов минимизации риска деструктивного воздействия на группу и сохранения целостности передаваемой информации.

2.3. ФОРМИРОВАНИЕ СМЕШАННОЙ НЕОДНОРОДНОЙ КОМАНДЫ В КОЛЛАБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Рассмотрим смешанную неоднородную команду, состоящую из множества членов-людей $H = \{h_i\}_{i=1}^n$ и множества коллаборативных роботов $B = \{b_j\}_{j=1}^m$. Предположим, что успешная деятельность команды требует осуществления множества $U = \{u_k\}_{k=1}^q$ различных функций. Обозначим через $r_{h_i}^k \geq 0$ и $r_{b_j}^k \geq 0$ эффективность выполнения k -й функции членами команды – i -м человеком и j -м коллаборативным роботом соответственно.

Предположим, что требуемые к выполнению объёмы работ заданы вектором $V = (V^1, \dots, V^q)$, $V^k \geq 0$, $k \in [1, q]$. В базовой модели будем считать, что затраты членов команды на выполнение единичного объёма работ зависят от назначенного им объёма и от эффективности выполнения соответствующей функции

конкретным членом команды. Зададим эти зависимости функциями $c_i(x_{h_i}, r_{h_i})$ и $c_j(x_{b_j}, r_{b_j})$ для членов команды – людей и роботов соответственно. Считаем, что $c_i(\cdot, \cdot)$ и $c_j(\cdot, \cdot)$ неотрицательны, монотонно возрастают и невогнуты по первому аргументу, монотонно убывают по второму, а также $c_i(0, \cdot) = c_j(0, \cdot) = 0$.

При выполнении следующих условий:

- 1) любой член команды может выполнить любой неотрицательный объём работ каждого вида;
 - 2) функции затрат аддитивны,
- оптимальное распределение работ между членами команды можно найти, решив задачу

$$(1) \begin{cases} \sum_{k=1}^q \left(\sum_{i=1}^n x_{h_i} c_i(x_{h_i}, r_{h_i}) + \sum_{i=1}^n x_{b_j} c_j(x_{b_j}, r_{b_j}) \right) \rightarrow \min_{\{\{x_{h_i} \geq 0\}, \{x_{b_j} \geq 0\}\}}, \\ \sum_{i=1}^n x_{h_i} + \sum_{i=1}^n x_{b_j} = V^k, k \in [1, q]. \end{cases}$$

Решение такой задачи можно найти в [6].

Следует отметить, что специфика смешанной неоднородной команды, включающей два вида членов различной природы, требует учета различных расширений и ограничений, к которым относятся: разные виды функций затрат, ограниченная активность членов команды – роботов, зависимость затрат членов команды, неаддитивность функций затрат у одного вида членов команды, или у обоих сразу.

3. Заключение

В рамках выполненной работы были рассмотрены общие принципы построения многоагентных робототехнических систем. Предложено рассмотрение в качестве агентов людей и роботов в коллаборативной робототехнической системе. Затронуты вопросы обеспечения безопасного инфокоммуникационного взаимодействия между агентами и приведен пример формирования смешанной неоднородной команды в рамках коллаборативной робототехнической системы.

Дальнейшая работа заключается в рассмотрении различных случаев эффективного функционирования смешанных неоднородных команд коллаборативной робототехнической системы. В частности, будут затрагиваться вопросы формирования смешанных команд для случая различных функций затрат у разных видов агентов и в случае ограниченной активности членов команд.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00767.

Литература

1. ГАЙДУК А.Р., КАЛЯЕВ И.А., КАПУСТЯН С.Г. *Управление коллективом интеллектуальных объектов на основе стайных принципов* // Вестник ЮНЦ РАН. – 2005. – Т. 1, вып. 2. – С. 20–27.
2. ГАЛИН Р.Р., КАМЕШЕВА С.Б. *Эффективное функционирование коллаборативной робототехнической системы в едином пространстве* // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2021. – №1(99). – С. 5–15.
3. ГАЛИН Р.Р., СЕРЕБРЕННЫЙ В.В., ТЕВЯШОВ Г.К., ШИРОКИЙ А.А. *Взаимодействие человека и робота в коллаборативных робототехнических системах* // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2020. – №24(4). – С. 180–199.
4. ЗИКРАТОВ И.А., ЗИКРАТОВА Т.В., ЛЕБЕДЕВ И.С., ГУРТОВ А.В. *Построение модели доверия и репутации к объектам мультиагентных робототехнических систем с децентрализованным управлением* // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – №3(91). – С. 30–38.
5. МАТВЕЕВА А.А., КИМ Ю.В., ВИКСНИН И.И. *Методы обеспечения информационной безопасности коммуникационных каналов в мультиагентных робототехнических системах* // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – Т. 19, №1. – С. 102–108.

6. НОВИКОВ Д.А. *Математические модели формирования и функционирования команд.* – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2008. – 184 с.
7. ОСИПОВ О.Ю., МЕЩЕРЯКОВ Р.В., ШЕПЕЛЕНКО М.Г. *Проектирование цифровых моделей элементов электромашиной части электромехатронных модулей робототехнических систем // Экстремальная робототехника.* – 2017. – №1. – С. 160–164.
8. ТИМОФЕЕВ А.В. *Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами // Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий.* – СПб.: СПИИРАН, 1999. – С. 71–81.
9. ЮРЕВИЧ Е.И. *Основы робототехники.* – БХВ-Петербург, 2018.
10. BEER M. *Organization Change and Development: A System View.* – London: Scott-Glenview: Foresman & Co, 1980.
11. PETERS N.S. *Collaborative Communication Interruption Management System (C-CIMS): Modeling Interruption Timings via Prosodic and Topic Modeling for Human-Machine Teams.* Дис. – Carnegie Mellon University, 2017.
12. SYCARA K, PANNU A., WILLIAMSON M. *Distributed Intelligent Agents // IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications.* – 1996. – Vol. 11, No 6. – P. 36–46.
13. VOROTNIKOV S., ERMISHIN K., NAZAROVA A., YUSCHENKO A. *Multi-agent Robotic Systems in Collaborative Robotics // In: Interactive Collaborative Robotics. ICR 2018. Lecture Notes in Computer Science, Vol 11097 / Eds.: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R.* – Springer, Cham.
14. WOOLDRIDGE M., JENNINGS N. *Agent Theories, Architectures and Languages: a Survey // Intelligent Agents: ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages (Amsterdam, The Netherlands, August 8-9, 1994) / Ed. by M.Wooldridge, N.Jennings.* – Berlin: Springer Verlag, 1995. – P. 1–22

MIXED HETEROGENEOUS TEAM CONTROL IN A COLLABORATIVE ROBOTIC SYSTEM

Rinat Galin, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Researcher (grr@ipu.ru).

Saniya Kamesheva, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Junior Researcher (ksb@ipu.ru).

Anastasia Iskhakova, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD, Senior Researcher (iao@ipu.ru).

Aleksandr Shirokov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Engineer (as.shirokov@yandex.ru).

Abstract: Within the research work of the presented material, aspects of the functioning and formation of robotic systems were considered on the example of human-robot interaction in collaborative robotics. A review of the general principles of building multi-agent robotic systems is carried out. The strategy of group control is defined, which includes interconnected central and local control devices. Legitimate opinions about the possibility of forming a mixed heterogeneous team, which includes people and collaborative robots, were given. The aspects of information security of a group of agents in the framework of a robotic system were considered. The mechanisms of ensuring the safe transfer of information in the process of interaction of agents for the correct and effective functioning of a group of robots is determined. The formulation of the problem of a special case of the formation of a mixed heterogeneous team is proposed, where the costs of team members for performing a single amount of work depend on the volume assigned to them and on the effectiveness of performing the corresponding function by a specific team member. During forming a mixed heterogeneous team, the specifics were taken into account, including two types of members of different natures, requiring consideration of various extensions and limitations, which include: different types of cost functions, limited activity of robot team members, dependence of team members costs.

Keywords: collaborative robotic system, mixed team, human-robot interaction, information security.

УДК 004.896

ББК 32.816я73