

УДК 004.896

DOI: 10.47928/1726-9946-2020-20-3-24-29

Моделирование и классификация взаимодействия человека и робота в коллаборативной робототехнической системе

Галин Р.Р.

Представлено академиком АМАН Шибзуховым З.М.

Развитие робототехники в рамках поэтапного перехода к Индустрии 4.0 дало интенсивный импульс к формированию нового направления в области робототехнических решений производственного процесса. В частности, речь идет о манипуляционных роботах невысокой полезной нагрузки и обеспечивающих безопасное взаимодействие с человеком в рабочем пространстве.

Такой класс роботов имеет принципиальные отличия от традиционных промышленных манипуляторов, несмотря на сходство по функционалу. Такие роботы называются коллаборативными роботами, использование которых в рабочем пространстве регламентировано рядом стандартов и технических спецификаций [1-3]. Коллаборативный робот (далее по тексту — кобот) предназначен для работы с человеком в едином рабочем пространстве с характерным такому взаимодействию принципом комплементарности, что позволяет совершенствовать и ускорить производственно-технологический процесс. Отчасти, необходимость в таком взаимодействии вызвано невозможностью полной автоматизации с заменой человеческого труда для ряда видов деятельности. Это привело к появлению нового понятия — взаимодействие человека и робота (human-robot interaction, HRI), что в случае с использованием коллаборативных роботов — human-robot collaboration (HRC), несущее смысл совместной целенаправленной и безопасной деятельности человека и робота [4].

Классификация взаимодействия человека и робота в рабочем процессе можно разбить на следующие классы: сосуществование — кооперация — коллаборация. Такое взаимодействие определяется четырьмя атрибутами: время выполнения вида работ, рабочее коллаборативное пространство, общность цели взаимодействия, физический контакт [5]. Существуют и другие основания классификации взаимодействия человека и робота, представленные в работе [6]. Можно выделить следующие категории основания классификации:

- по типу задач – в зависимости от поставленной задачи, проектируется робототехническая система;
- по уровню критичности задачи – измеряется важность правильного выполнения задачи с точки зрения ее негативных последствий;
- по составу коалиции системы («команда» [7]) – однородные или разнородные;
- по уровню совместного взаимодействия – различные сценарии взаимодействия;
- по типу физического контакта – рассматривают пять типов физической близости человека и робота [8]: избегание, прохождение, следование, приближение, прикосновение;
- по типу автономности – степень вмешательства при взаимодействии человека и робота.

Рассмотрим категорию по уровню совместного взаимодействия в коллаборативной робототехнической системе. Следует понимать, что отношение людей к роботам является отличительной характеристикой системы человек — робот, но это соотношение не дает полного представления о подходе к управлению роботами. Это зависит от того, как осуществляется взаимодействие, ведь согласно сценариям, в системе могут присутствовать несколько человек-операторов, которые передают команды роботу или роботам согласованно, или не согласованно, а роботу необходимо определить приоритет исполнения команд. Аналогичная ситуация и с другой стороны, если существует несколько роботов, то каждый из них получает и действует по командам независимо, или все роботы получают все команды и обмениваются информацией между собой, чтобы определить, какой робот должен реагировать на какие команды [9].

Более подробно классификационные схемы взаимодействия в системе человек — робот представлены на рисунке 1. Представленная схема учитывает множественность агентов.

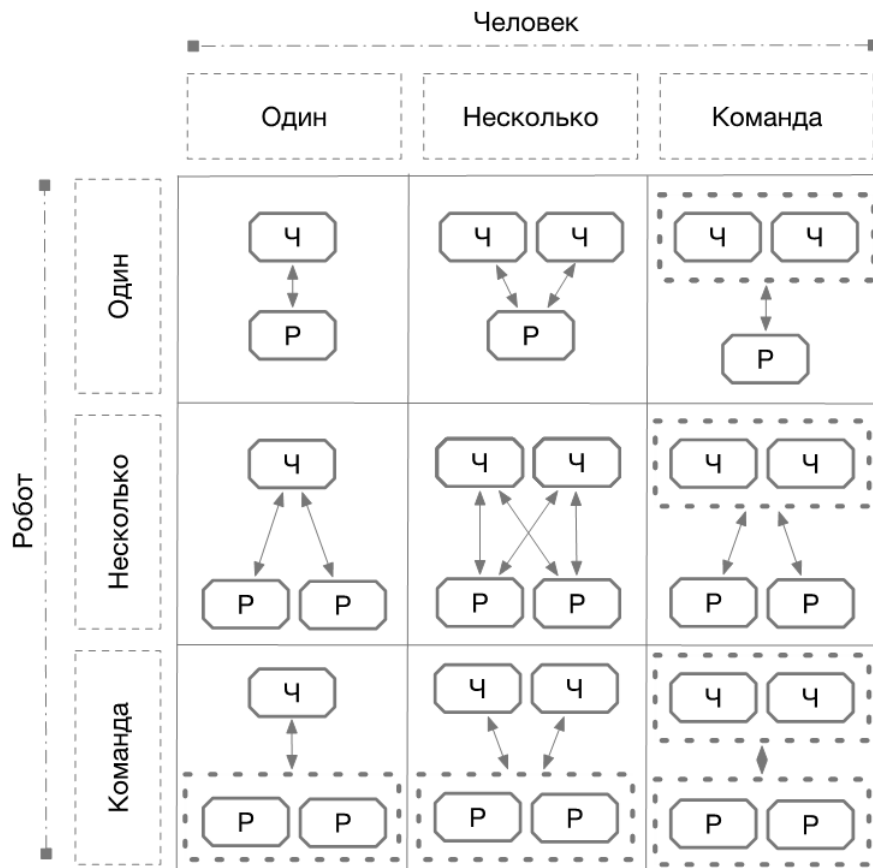


Рисунок 1 – Классификационные схемы взаимодействия человека и робота с учетом множественности агентов.

Организация взаимодействия человека и робота в коллаборативной робототехнической системе является одной из важнейших задач, от которой зависит эффективность и успешность функционирования всей системы. При взаимодействии участников системы необходимо учитывать два аспекта. Первый аспект характеризуется общностью цели, к которой стремится каждый участник системы, а второй — автономностью и согласованностью действий участников системы в различных ситуациях при достижении цели.

На операционном уровне, взаимодействие человека и коллаборативного робота с учетом множественности агентов может быть рассмотрено по принципу объединения интеллектуальных агентов в многоагентную робототехническую систему. Это позволяет решать задачи обмена информацией и выработки целеуказаний [10]. Каждый участник системы рассматривается как интеллектуальный агент, обладающий такими ключевыми свойствами, как автономность и целенаправленность. Многоагентные системы представляют собой некоторое множество интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом [11-12].

Интеллектуальные агенты классифицируются на натуральные и искусственные. К натуральным относятся люди, животные, а к искусственным — робот, коллектив роботов, компьютерная программа. Более комплексное определение интеллектуального агента определено в работах [12-13], где выделены следующие характеристики:

- способность решения задач, поставленных людьми или другими компьютерными агентами;
- активность, т.е. способность инициировать решение задачи и предлагать свои услуги пользователю;
- сетевая «среда обитания» и способность самоорганизации в ней;
- полуавтономность (у пользователя есть возможность управлять уровнем автономности агента);
- антиципация, т.е. способность предвидеть запросы пользователя;
- надежность;
- способность сотрудничать с людьми или другими компьютерными агентами в интересах решения задачи;
- гибкость, проявляющаяся в способности работать с неоднородными агентами и удаленными информационными ресурсами;
- адаптивность, способность оперативно приспосабливаться к изменению потребностей пользователя и факторов среды;
- настойчивость в решении задачи.

В противоположность интеллектуальным агентам – реактивные, не имеют представления о внешней среде и не обладают функциями когнитивного анализа. Реактивные агенты не обладают возможностью прогнозировать изменения внешней среды и планировать действия в отношении других агентов.

Группа интеллектуальных агентов — коллаборативных роботов и людей-операторов можно назвать коллаборативной многоагентной робототехнической системой. В такой системе можно выделить следующие характеристики, которые по своему содержанию свойственны к отличительным характеристикам «команды» [7]:

- единство цели;
- совместная деятельность;
- непротиворечивость интересов;
- автономность деятельности;
- специализация и взаимодополняемость ролей (включая оптимальное распределение функций и объемов работ, а также синергетичность взаимодействия членов «команды»).

Примером для исследовательской задачи и моделирования процесса взаимодействия человека и робота берется коллаборативный робот компании Universal Robots — UR5 с использованием системы технического зрения. Данный робот предназначен для автоматизации задач с весом полезной нагрузки до 5 кг. Среди распространенных задач данного робота: упаковка и паллетирование, полировка, лабораторные исследования, склеивание, дозирование и сварка. Робот обладает 6 степенями свободы на шарнирных соединениях. Зона досягаемость 850 мм. Коллаборативный робот UR5 является легко настраиваемым роботом. Оператору не обязательно иметь навыки программирования. Universal Robots Company запатентовали технологию, которая на интуитивном уровне позволяет программировать с использованием 3D визуализации. Это позволяет с помощью ручного передвижения или с использованием интерфейса запрограммировать робот под конкретную задачу [14].

Методы моделирования роботов позволяют сократить время проектирования еще на этапе эскизного представления робота. Это позволяет уменьшить число итераций в период разработки прототипа робота. Процесс проектирования робота позволяет учитывать влияние различных факторов на робота и его компоненты, оценить устойчивость, быстродействие и точность. В более обширном смысле, проектирование позволяет оптимизировать как отдельный процесс, так и в целом робототехническую систему.

Для оценки конструктивных характеристик и характер динамических процессов робота, выявления изменения скорости и момента вращения используется динамическая модель проектируемого робота. Кинематическая модель позволяет исследовать процессы движения робота с положением в пространстве. В работах [15, 16] рассмотрено математическое представление кинематических характеристик с использованием метода Денавита – Хартенберга (ДХ). На рисунке 2 (а) представлен чертеж коллаборативного робота с указанием его рабочего диапазона.

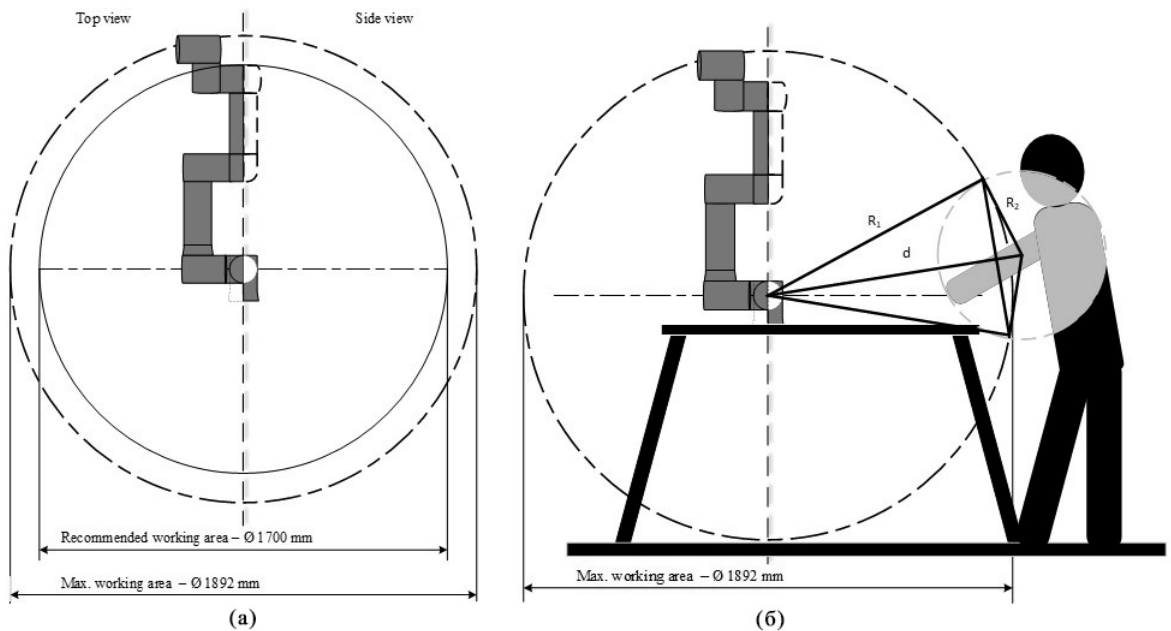


Рисунок 2 – Коллаборативный робот с указанием его рабочего пространства (а). Пересечение площадей рабочих диапазонов человека и робота (б).

В вопросах моделирования эффективного взаимодействия человека и робота на примере коллаборативной робототехники проверяются все возможные гипотезы, позволяющие оптимизировать все процессы робототехнической системы. Так, помимо кинематического анализа, было рассмотрено влияние взаимного расстояния между человеком и коллаборативным роботом. Как у робота, человек обладает своей рабочей зоной, которая может быть выражена расстоянием от точки положения человека и до точки конца его руки. Таким образом у человека получается его примерное рабочее пространство, которое можно задать окружностью с заданным радиусом. Пересечение площадей рабочих пространств UR5 и человека в процессе взаимодействия представлено на рисунке 2 (б). В случае с роботом, рабочее пространство будет задано максимальным радиусом. Таким образом, мы можем сделать расчеты площадей двух окружностей различных радиусов. Площадь пересечения данных окружностей будет равна сумме сегментов пересеченных окружностей. Эффективность, которая стремится к максимальному значению надо рассматривать в пространстве пересечения двух окружностей. Данное пространство называется общей рабочей зоной. В общей рабочей зоне осуществляется взаимовыгодное сотрудничество между роботом и человеком. Учитывая различные человеческие факторы, которые могут сказаться на эффективной работоспособности человека, робот сможет легко скомпенсировать потери со стороны человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO/TC 299 Robotics – “ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots”. [Электронный ресурс], Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/62996.html> (дата обращения: 06.12.2020).
2. ISO 10218-1, 2:2011 “Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1, 2: Robot systems and integration”, Geneva (2011).
3. Robot or cobot: The five key differences. Hannover Messe, 18 October 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hannovermesse.de/en/news/robot-or-cobot-the-five-key-differences.xhtml>. (Дата обращения 20.10.2020).
4. Galin R., Meshcheryakov R. Review on human-robot interaction during collaboration in a shared workspace. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) // Interactive Collaborative Robotics, ICR 2019, Lecture Notes in Computer Science, vol. 11659, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-26118-4_7.
5. Hoffman G. Evaluating fluency in human-robot collaboration // IEEE Transactions on Human-Machine Systems, pp. 1–10. DOI:10.1109/THMS.2019.2904558.
6. Holly A. Yanko, Jill D. Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004, pp. 2841–2846.
7. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. 184 с.
8. Huttenrauch H., Eklundb K.S. Investigating socially interactive robots that give the right cues and make their presence felt // Proceedings of the CHI 2004 Workshop on Shaping Human-Robot Interaction, pp. 17–20.
9. Wang X.V. et al. Human-robot collaborative assembly in cyber-physical production:

- Classification framework and implementation // CIRP Annals, 66(1), pp. 5–8. 2017. DOI: 10.1016/j.cirp.2017.04.101.
10. Трапезнигеру Э.А. Взаимодействие агентов в многоагентных системах // Автоматика и телемеханика. 1998. Выпуск 8. 52 с.
 11. 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, pp. 1–22.
 12. Sycara K., Pannu A., Williamson M. Distributed intelligent agents // IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications, 1996, vol. 11, № 6, pp. 36–46.
 13. Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г. Управление коллективом интеллектуальных объектов на основе стайных принципов // Вестник ЮНЦ РАН. 2005. Т. 1, выпуск 2. С. 20–27.
 14. Universal robots brochure “The future of collaboration”, Denmark, 2016, 18 p.
 15. Hartenberg R. and Denavit J. A kinematic notation for lower pair mechanisms based on matrices // Journal of Applied Mechanics, June 1955, pp. 215–221.
 16. Galin R., Meshcheryakov R. and Samoshina A. Mathematical modelling and simulation of human-robot collaboration // 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2020, pp. 1058–1062. DOI: 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208040.

ABSTRACT

This article discusses the issues of human-robot interaction on the example of collaborative robot. The analysis of the bases of classification of human-robot interaction in a robotic system is carried out. The interaction schemes in the human-robot system are considered, taking into account the multiplicity of agents and the influence of the mutual distance between a human and a collaborative robot.

Keywords: collaborative robot, robotic system, intelligent agent, human-robot collaboration.

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow; grr@ipu.ru

© R.R. Galin, 2020

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются вопросы взаимодействия человека и робота на примере коллаборативного робота. Проведен анализ оснований классификации взаимодействия человека и робота в робототехнической системе. Рассмотрены схемы взаимодействия в системе человек-робот с учетом множественности агентов и влияние взаимного расстояния между человеком и коллаборативным роботом.

Ключевые слова: коллаборативный робот, робототехническая система, интеллектуальный агент, взаимодействие человека и робота.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва; grr@ipu.ru

© Р.Р. Галин, 2020