

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЗАДАЧАХ КОЛЛАБОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ**

**Яременко А.М.<sup>1</sup>, Захаров Д.Н.<sup>1</sup>, Панин А.Д.<sup>1</sup>, Алиев Д.Р.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Громов В.С.<sup>1</sup>**

Университет ИТМО

amyaremenko@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы ПО НИОКТР №425045 «Разработка коллаборативной мобильной роботизированной платформы».

### **Введение**

Достижения в области искусственного интеллекта, сенсорных технологий и высокоточной механики стимулируют развитие современной робототехники. Одним из таких направлений являются коллаборативные роботы – системы, работающие в одном совместном пространстве с человеком. В работе представлен новый подход к физическому взаимодействию человека и робота на основе распределённой системы измерения сил, интегрированной непосредственно в корпус всенаправленной мобильной платформы. В отличие от стандартных методов, представленный подход обеспечивает прямое взаимодействие человека с роботом, гарантируя интуитивное, безопасное и точное управление. Архитектура управления объединяет силовое управление с виртуальным силовым алгоритмом безопасности, регулирующим силы взаимодействия для обеспечения безопасности человека. Результаты показывают способность робота к гибкому, безопасному и интуитивному физическому взаимодействию с людьми, эффективной адаптации как к индивидуальным, так и к групповым воздействиям, а также автономной корректировке поведения в динамических условиях.

### **Основная часть**

В работе выделено два основных сценария работы коллаборативного мобильного робота: взаимодействие робота и человека, трёхстороннее взаимодействие «робот–человек–препятствие». Одним из методов интуитивного и плавного взаимодействия человека и робота является использование силовой обратной связи [1]. Это связано с тем, что простые физические действия, такие как толкание, являются естественными для человека [2]. В настоящей работе предлагается перенести этот привычный для человека подход на всенаправленного робота. Существуют различные подходы к управлению мобильным роботом, управляемым человеком, при этом наиболее распространёнными методами являются джойстик и голосовое управление. Однако в промышленных условиях эти подходы имеют существенные ограничения: голосовое управление часто оказывается ненадёжным из-за высокого уровня шума, а управление с помощью джойстика становится непрактичным при одновременной работе с несколькими роботами, поскольку требует индивидуальных подключений и создаёт высокую когнитивную нагрузку на оператора.

В качестве альтернативы было предложено силовое управление, обеспечивающее интуитивный способ взаимодействия, снижающий требования к обучению оператора и повышающий безопасность при выполнении коллаборативных задач. Благодаря адаптивной реакции на силы, прикладываемые оператором, данный подход обеспечивает плавную координацию между человеком и роботом, особенно в задачах транспортировки и перемещения грузов. Кроме того, предложенная архитектура изначально масштабируема, что делает её хорошо подходящей для крупномасштабных роботизированных систем в современных логистических приложениях.

Похожая концепция была представлена в [3], где роботизированная рука использовалась в качестве интерфейса управления для транспортировки грузов. Другой пример приведён в работе [4], где платформа управлялась с помощью рычага,

установленного на датчике силы-момента. Такая конструкция позволяет управлять платформой только с одной стороны и ограничивает измерение сил при взаимодействии человека с роботом. В отличие от представленных вариантов, предложенный метод устраняет необходимость во внешнем манипуляторе и связанных с ним приводных системах, существенно упрощая как конструкцию, так и вычислительную сложность, благодаря обеспечению прямого силового взаимодействия.

### **Выводы**

В данной работе представлен новый метод к коллаборативной мобильной робототехнике, основанный на интеграции распределённой системы измерения сил непосредственно во всенаправленную платформу. Метод обеспечивает физическое взаимодействие человека и робота за счёт прямого контакта с мобильной базой. Представлена система управления, объединяющая силовое управление и алгоритм безопасности на основе виртуальных сил, обеспечивающий, чтобы результирующие силы не были направлены в сторону человека. Экспериментальная валидация показала, что предложенный подход позволяет реализовать интуитивное и безопасное взаимодействие, сохраняя при этом гибкость и манёвренность платформы. Результаты демонстрируют, что робот способен безопасно обходить препятствия, предотвращая столкновения человека с окружающей средой и избегая нежелательных взаимодействий с человеком. Дополнительно был рассмотрен практический сценарий взаимодействия в узком проходе, в котором человек может сместить робота с его траектории. После того как человек покидает проход, робот автономно перепланирует траекторию и продолжает выполнение задачи без необходимости ручного вмешательства или перепрограммирования. В дальнейших исследованиях планируется оптимизировать размещение датчиков, повысить устойчивость управления в динамических условиях, а также расширить предложенную архитектуру на сценарии коллаборативной работы нескольких роботов.

### **Литература**

1. Research and A. Blackler, S. Desai, M. McEwan, V. Popovic, and S. Diefenbach, "Perspectives on the nature of intuitive interaction," *Intuitive Interaction Research and Application*, pp. 19–39, 2019.
2. D. Engelbrecht, N. Steyn, and K. Djouani, "Adaptive virtual impedance control of a mobile multi-robot system," *Robotics*, vol. 10, no. 1, p. 19, 2021.
3. T. Kastritsi and A. Ajoudani, "A passive power-based control strategy for pHRI tasks with omni-directional robotic mobile platforms," *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2024.
4. J. Frémy, F. Ferland, L. Clavier, D. L'etourneau, F. Michaud, and M. Lauria, "Force-controlled motion of a mobile platform," in *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2010, pp. 2517–2518.

Яременко А. М. \_\_\_\_\_

Громов В.С. \_\_\_\_\_