

УТВЕРЖДАЮ

Исполняющий обязанности

директора, д.т.н.

А.В. Рагуткин

« 8 » декабря 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук на диссертационную работу Белова Никиты Вадимовича на тему: «Методы и алгоритмы сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время промышленные роботы играют значительную роль в улучшении производственных процессов в различных отраслях промышленности и их применение позволяет существенно повысить эффективность производства, снизить затраты и улучшить качество продукции. При этом одной из ключевых проблем остается автоматизация процессов сортировки и манипулирования произвольно расположенными деталями, которая в настоящее время часто выполняется вручную или требует применения специализированных дорогостоящих оснасток. Особую сложность представляет задача надежного захвата объектов в условиях их произвольной пространственной ориентации и компоновки.

Существующие промышленные решения демонстрируют ограниченную эффективность при решении задач сортировки произвольно расположенных деталей, что обусловлено недостаточной развитостью методов адаптивного управления и алгоритмов компьютерного зрения для работы в сложных производственных сценах.

Таким образом, исследование направлено на решение актуальной научно-технической проблемы, имеющей существенное значение для развития

современных робототехнических систем и создания гибких автоматизированных производственных комплексов нового поколения.

Структура и содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются научная задача, цель и частные задачи исследования, определяются объект и предмет исследования, приводится практическая значимость и научная новизна результатов, излагаются научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен комплексный анализ современных систем управления промышленными манипуляторами и методов распознавания объектов. На основе анализа выявлены ограничения существующих подходов и сформулированы требования к разрабатываемой системе.

Вторая глава посвящена разработке архитектуры подсистемы дистанционного управления промышленным роботом, обеспечивающей двустороннюю связь между контроллером робота и удаленным вычислительным устройством. Подсистема позволяет в автоматическом режиме передавать управляющие программы, полученные с помощью компьютерного зрения на контроллер робота.

В третьей главе представлены разработанные метод классификации и захвата произвольно расположенных деталей, алгоритм определения пространственных координат объекта, а также конструкция пневматического магнитного захватного устройства с демпфирующим механизмом. При этом в методе предусмотрена возможность захвата объектов, расположенного возле стенки накопителя, что повышает стабильность работы промышленного робота в условиях их произвольной пространственной ориентации и компоновки.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенных решений и достижение заданных показателей точности и надежности. Достоверность полученных результатов подтверждена на основе лабораторных испытаний разработанного программно-аппаратного комплекса на базе промышленного манипулятора Kuka KR4 R600.

В заключении подведены итоги исследования, подтверждена актуальность и научная новизна работы. Показано, что предложенные решения повышают эффективность сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором. Полученные результаты исследования внедрены в практическую деятельность ООО «Геларм» и учебный процесс кафедры «Интеллектуальные системы в управлении и автоматизации» МТУСИ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, результатов выводов, сформулированных соискателем в диссертационной работе, обеспечена строгими математическими выводами, согласованностью с опубликованными результатами научных исследования других авторов, подтверждаются результатами экспериментальных исследований разработанных методов, алгоритмов и программно-аппаратных средств для системы управления промышленного манипулятора. Полученные данные имеют высокую воспроизводимость и не противоречат общепринятым данным и работам других авторов.

Научная новизна

Показана возможность за счет нейросетевых и методов компьютерного зрения, в рамках модульной архитектуры системы управления, разрабатывать адаптивные алгоритмы управления робототехническими системами.

Разработана архитектура подсистемы дистанционного управления промышленным роботом, обеспечивающая в автоматическом режиме передачу управляющих программ, полученных с помощью компьютерного зрения на контроллер робота.

Разработан метод классификации и захвата произвольно расположенных разнородных деталей в накопителе, включающий: определение границ накопителя в рабочей зоне манипулятора методом конкурного анализа, нейросетевой метод сегментации объектов, выбор объекта захвата по данным RGB-D сенсора, алгоритм определения пространственных координат объекта, движение манипулятора и управление захватным устройством. При этом в методе предусмотрена возможность захвата объектов, расположенного возле стенки накопителя.

Разработан алгоритм определения пространственных координат объекта на основе интеграции нейросетевого метода и облака точек. В алгоритме предусмотрена возможность определения 3D координат в случае частичного перекрытия объекта.

Разработана конструкция пневматического магнитного захвата, позволяющая осуществлять захват ферромагнитных изделий, без смещения центра тяжести, относительно фланца робота, а также содержащего подпружиненный демпфер, который увеличивает допустимую погрешность сближения с захватываемой деталью. Такое решение позволяет предотвратить

возможные аварии при захвате изделия, габариты/ориентация которого отличны от установленных, с минимальным понижением исходной грузоподъемности робота.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая значимость заключается в развитии научных основ создания интеллектуальных систем управления промышленными манипуляторами. Соискателем разработаны новые методы и алгоритмы адаптивного управления, основанные на синтезе нейросетевых технологий и современных подходов к обработке визуальной информации и научный подход к оптимизации процессов распознавания пространственного положения произвольно расположенных объектов.

Практическая значимость исследования заключается в создании и успешной апробации: комплексного метода классификации и захвата деталей, который в сочетании с запатентованной конструкцией магнитного захвата, обеспечивает надежный захват объектов даже в сложных условиях расположения деталей в накопителе; алгоритма определения пространственных координат объекта, позволяющего точно определять центр и пространственную ориентацию деталей в сложных условиях, включая случаи частичного перекрытия; архитектуры дистанционного управления промышленным роботом, реализующую децентрализованное управление и обеспечивает передачу управляющих программ в потоковом режиме.

Основные публикации, отражающие содержание диссертации

По материалам диссертационной работы Белова Н.В. опубликовано 8 статей, в том числе 2 статьи в центральных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в изданиях, индексируемых базами Web of Science и Scopus, индексируемых в РИНЦ - 2 работы, получен 1 патент РФ на полезную модель, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

По диссертации имеются следующие замечания

1. Не в полной мере обоснован выбор нейросетевой архитектуры YOLOv8 для задач распознавания и классификации в сравнении с другими современными архитектурами ИНС.

2. В некоторых случаях математический аппарат предложенных решений приведен в свернутом виде. В частности, основные алгоритмы

машинного зрения и управления представлены на алгоритмическом уровне, их формализация могла бы быть более полной. Было бы полезно дополнить описание аналитическими выражениями для ключевых преобразований и более строго определить области применения используемых методов.

3. Разработанное в диссертации решение автоматической интеллектуальной сортировки демонстрирует хорошие результаты при малом и среднем количестве объектов в накопителе, однако вопросы его масштабируемости при значительном увеличении числа объектов требуют дополнительного изучения. В частности, не исследована зависимость времени обработки данных от количества детектируемых объектов, не оценен рост потребления вычислительных ресурсов при высокой плотности объектов в сцене.

4. В диссертации недостаточно освещены вопросы устойчивости работы системы технического зрения к изменению параметров окружающей среды, в частности не представлены результаты исследований влияния переменных условий освещенности, включая естественное изменение света в течение суток, искусственную пульсацию осветительных приборов и появление бликов на металлических поверхностях.

5. Недостаточно подробно раскрыто взаимодействие разработанной системы дистанционного управления со штатными системами обратной связи контроллера KUKA.

6. При исследовании особенностей работы с ферромагнитными деталями, не рассмотрены риски магнитного взаимодействия между деталями в накопителе при использования разработанного захватного устройства.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку выполненной работы.

Соответствие диссертации научной специальности

Представленная диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» в пунктах «5. Методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства управления роботами, робототехническими и мехатронными системами, включая адаптивное, оптимальное, распределенное, интеллектуальное и супервизорное управление», «6. Математическое и программное обеспечение, компьютерные методы и средства обработки информации в реальном времени в роботах, робототехнических и мехатронных системах».

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Белова Никиты Вадимовича на тему: «Методы и алгоритмы сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные решения, методы и алгоритмы для систем управления промышленными роботами. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической ценностью и соответствует требованиям п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

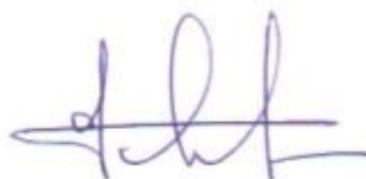
Отзыв рассмотрен и одобрен на научно-техническом совете отдела «Механика машин и управление машинами» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, протокол заседания № 4/25 от 08.12.2025.

Председатель НТС отдела
«Механика машин и
управление машинами», д.т.н.



Г.С. Филиппов

Ответственный за подготовку
отзыва ведущей организации
главный научный сотрудник лаборатории
теории механизмов и структуры машин,
д.т.н., профессор



С.С. Гаврюшин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

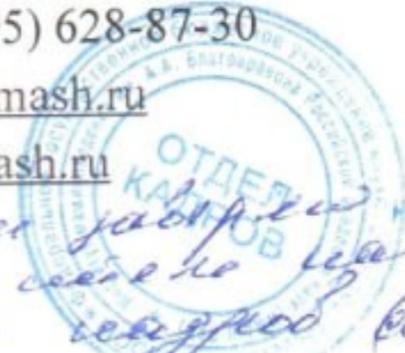
Адрес: 101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., дом 4

Телефон: 8 (495) 628-87-30

E-mail: info@imash.ru

Сайт: www.imash.ru

Подпись
Заведующий отделом
С.С. Гаврюшин



С.С. Гаврюшин