

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Шилина Дениса Викторовича
на диссертацию 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 специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические
системы»

Актуальность темы диссертационной работы

В условиях активной цифровизации промышленного производства в Российской Федерации задачи автоматизации сортировки и перемещения деталей приобретают особую значимость. Существующие промышленные решения часто ограничены работой с деталями в строго определенной ориентации и положении, что снижает гибкость производственных систем. В этой связи разработка методов и алгоритмов, позволяющих осуществлять надежный захват произвольно расположенных объектов в условиях неструктурированной среды, представляет собой важную научно-техническую проблему.

Представленная тема диссертационного исследования, посвященная разработке методов и алгоритмов сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения, является несомненно актуальной и соответствует приоритетным направлениям развития робототехнических систем.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе

В диссертации Белова Н.В. предложены и внедрены методы и алгоритмы, обеспечивающие решение задачи сортировки ферромагнитных деталей в промышленных условиях. Разработана модульная архитектура системы управления, включающая подсистему дистанционного управления и подсистему компьютерного 3D-зрения, что в комплексе позволяет решить основную задачу автоматизации захвата и сортировки произвольно расположенных деталей из накопителя в условиях неструктурированной производственной среды.

Научные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными. Автор корректно использует методы теории робототехнических систем, математической статистики, компьютерного зрения и нейросетевого

моделирования. Экспериментальные исследования проведены с использованием современного промышленного оборудования KUKA, что подтверждает практическую значимость полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту, логично связаны между собой и подтверждаются проведенными исследованиями.

Выводы соответствуют поставленным задачам, а также полученным результатам и логично вытекают из основного содержания диссертационного исследования. Материалы диссертации прошли достаточную апробацию на научных конференциях, также подтверждаются, приложенным к диссертации актом о внедрении результатов диссертации.

Оценка новизны и достоверности результатов диссертационной работы

В качестве новых научных результатов можно полагать следующие результаты:

1. Разработана модульная архитектура системы управления промышленным манипулятором для сортировки, содержащая подсистему удаленного управления и методы компьютерного 3D-зрения.

2. Предложена архитектура подсистемы дистанционного управления промышленным роботом, обеспечивающая двустороннюю связь и передачу команд управления в потоковом режиме.

3. Разработан метод классификации и захвата манипулятором произвольно расположенных разнородных деталей из накопителя, обеспечивающий повышение стабильности захвата.

4. Создан алгоритм определения пространственных координат объекта на основе интеграции нейросетевого метода и облака точек.

5. Разработана конструкция пневматического магнитного захвата с демпфером, увеличивающая допустимую погрешность сближения с захватываемой деталью.

Результаты исследования подтверждаются перечнем апробаций результатов работы на научных конференциях, наличием 2 опубликованных научных работ в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, 4 научных работ, опубликованных в журнале из международной базы Scopus, 2 статей и материалов конференций индексируемые в РИНЦ, включая 3 свидетельства о регистрации ПО, 1 патент на полезную модель.

Апробация результатов диссертационной работы

Основные научные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 международных и всероссийских научно-технических конференциях, включая:

1. СХХХII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ», Новосибирск, 2023;
2. Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, St. Petersburg, Russia, 2023;
3. International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", Petrozavodsk, Russia, 2023;
4. International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", Nalchik, Russia, 2024;
5. Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, Russia, 2024;
6. International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon), Sochi, Russia, 2024;
7. XV Молодёжный научный форум МТУСИ «Телекоммуникации и информационные технологии», Москва 2024;
8. Международная научно-техническая конференция "Автоматизация", Сочи, Россия, 2025.

Замечания по тексту диссертационной работы

1. Автор заявляет в качестве ключевых характеристик для выбора аппаратной части машинного зрения разрешение, точность глубины, угол обзора и устойчивость к внешним условиям. Рассматривая монокулярное зрение, стереопары и RGB-D-сенсоры, приходит к выводу что последний тип демонстрируют преимущество в задачах, требующих быстрого и надежного получения 3D-данных. Является ли данное решение избыточным в рамках решаемой задачи? Почему не рассматривались времяпролетные камеры?

2. Автор на 85 странице пишет, что используемая СМЗ (на самом деле, как и любая другая) имеет относительные ошибки измерения при удалении объекта от оптической оси. Предложен подход повторного запуска алгоритма сегментации и распознавания после предварительного смещения оптической оси СМЗ на рассматриваемой объект и накладывания бинарной маски. Вывод по координатам бинарной маски производится при первой итерации и в самом плохом случае может быть ошибка 7-12 мм, т.е. присутствует риск перекрытия маской текущего объекта и смещения точности последующих измерений. Так как второй снимок является результирующим для дальнейшего перемещения рабочего органа манипулятора для захвата эти проблемы транслируются на показатели качества самого технологического процесса, а именно корректного и точного позиционирования рабочего органа манипулятора для захвата. Анализировались ли данные зависимости? На сколько эффективно

использовать бинарную маску? Что автор пытался оптимизировать или улучшить, используя данную маску и удалось ли оценить численно данное улучшение?

3. На странице 104 представлены результаты обучения модели YOLOv8, однако не полностью раскрыты критерии выбора архитектуры YOLOv8m для решения поставленной задачи.

4. На странице 115 приведены результаты тестирования преобразования координат, но отсутствует сравнение с существующими аналогами в аналогичных условиях.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследований и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Белова Никиты Вадимовича является законченным научно-квалификационным трудом, выполненным автором самостоятельно на хорошем научном уровне.

Автором решена важная научно-техническая задача, связанная с разработкой методов и алгоритмов сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором. Полученные результаты являются новыми, научно обоснованными и имеют практическую значимость для промышленной робототехники. Достоверность результатов подтверждена экспериментальными исследованиями и актами внедрения.

Текст диссертации написан грамотно, хорошо проиллюстрирован рисунками и примерами, последовательность изложения логичная, работа аккуратно оформлена. Автореферат полностью соответствует основному содержанию работы.

Опубликованные автором работы отражают основное содержание диссертации. Количество публикаций в рецензируемых изданиях, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, соответствует нормативу, установленному Положением о порядке присуждения учёных степеней.

На основании изложенного считаю, что диссертация Белова Никиты Вадимовича на тему «Методы и алгоритмы сортировки ферромагнитных деталей промышленным манипулятором с использованием компьютерного зрения» полностью соответствует критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, а ее автор, Белов Никита Вадимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Официальный оппонент

кандидат технических наук, доцент кафедры «Управления и интеллектуальных технологий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».



Шилин Д.В.

25.11.2025

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

111250, Россия, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1

телефон: +7 495 362-70-01, +7 495 362-75-60

e-mail: universe@mpei.ac.ru

