

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

ЮФУ801.02.06

созданного на базе Научно-исследовательского института

многопроцессорных вычислительных систем

имени академика А.В. Каляева Инженерно-технологической академии

Южного федерального университета,

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____,

решение диссертационного совета

от «22» сентября 2023 г. №15

О присуждении Колпащикову Дмитрию Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов» по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы, технические науки принята к защите 19 мая 2023 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом ЮФУ801.02.06, созданным на базе Научно-исследовательского института многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Инженерно-технологической академии Южного федерального университета приказом №373-ОД от 22 декабря 2022г.

Соискатель Колпащиков Дмитрий Юрьевич 1992 года рождения,

В 2018 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 15.04.01. «Машиностроение» (диплом 107004 0004996).

В 2022 г. соискатель Колпащиков Дмитрий Юрьевич окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский

Томский политехнический университет» по направлению: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника.

В 2022 г. для прохождения промежуточной аттестации по направлению 2.5. «Машиностроение» Колпащиков Дмитрий Юрьевич был зачислен в качестве соискателя в федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

С 2020 г. Колпащиков Д.Ю. работает инженером в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в Научно-образовательной лаборатории обработки и анализа больших данных Инженерной школы информационных технологий и робототехники.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Гергет Ольга Михайловна, доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты:

1. Малолетов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис»;
2. Костюков Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации из них в **рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК РФ** опубликовано 3 статьи, в **рецензируемых научных изданиях,**

индексируемых в базе Web of Science и SCOPUS опубликовано 3 статьи, в материалах международных и российских научно-технических конференций опубликовано 7 докладов и тезисов доклада общим объемом 39 страниц (75% авторских). Соискателю выдан 1 патент на изобретение по теме диссертации: Патент № 2721769 С1 Российская Федерация, МПК В25J 19/00. Соискателю выдано 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ по теме диссертации: №2019664820, №2021680612, №2022611228. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научной степени работах, виде, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Данилов, В. В. Автоматическое управление непрерывным роботом с использованием алгоритма FABRIK / В. В. Данилов, Д. Ю. Колпащиков, Н. В. Лаптев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7, № 4(27). – С. 1-2. – DOI 10.26102/2310-6018/2019.27.4.004 (ведущий рецензируемый журнал, входит в перечень ВАК, 40% авторских).

2. Kolpashchikov, D. Yu. Comparison of Inverse Kinematics Algorithms for Multi-Section Continuum Robots / D. Yu. Kolpashchikov, O. M. Gerget // Mechatronics, Automation, Control. – 2021. – Vol. 22, No. 8. – P. 420-424. – DOI 10.17587/mau.22.420-424 (ведущий рецензируемый журнал, входит в перечень ВАК, индексируется в базе Scopus, 60% авторских).

3. Колпащиков, Д. Ю. Сравнение результатов работы алгоритмов обратной кинематики на основе FABRIK для многосекционных непрерывных роботов / Д. Ю. Колпащиков, О. М. Гергет, В. В. Данилов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 12(753). – С. 34-45. – DOI 10.18698/0536-1044-2022-12-34-45 (ведущий рецензируемый журнал, входит в перечень ВАК, 40% авторских).

4. Kolpashchikov, D. Robotics in Healthcare / D. Kolpashchikov, O. Gerget, R. Meshcheryakov // Intelligent Systems Reference Library. – 2022. – Vol.

212. – P. 281-306. – DOI 10.1007/978-3-030-83620-7_12 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus, 50% авторских).

5. Kolpashchikov, D. FABRIKx: Tackling the Inverse Kinematics Problem of Continuum Robots with Variable Curvature / Kolpashchikov D., Gerget O., Danilov V. // Robotics. – 2022. – Т. 11, №. 6. – С. 128. – DOI 10.3390/robotics11060128 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus (Q1), 75% авторских).

6. Use of semi-synthetic data for catheter segmentation improvement / Viacheslav V. Danilov, Dmitrii Yu. Kolpashchikov, Olga M. Gerget [et al.] // Computerized Medical Imaging and Graphics. – 2023. – Vol. 106. – С. 102188. – DOI 10.1016/j.compmedimag.2023.102188 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus (Q1), 13% авторских).

7. FABRIK-Based Inverse Kinematics for Multi-Section Continuum Robots / D. Y. Kolpashchikov, N. V. Laptev, V. V. Danilov [et al.] // Proceedings of the 2018 18th International Conference on Mechatronics - Mechatronika, ME 2018. – 2019. – P. 8624888 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus, 55% авторских).

8. Motion planning algorithm for continuum robots bending over obstacles / D. Y. Kolpashchikov, N. V. Laptev, R. A. Manakov [et al.] Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2019. – 2019. – С. 269-272. – DOI 10.1109/CTS48763.2019.8973282 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus, 55% авторских).

9. Gerget, O. M. Collision avoidance for continuum robot using FABRIK algorithm / O. M. Gerget, D. Y. Kolpashchikov // Proceedings of 2019 12th International Conference "Management of Large-Scale System Development", MLSD 2019. – 2019. – P. 8911070. – DOI 10.1109/MLSD.2019.8911070 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus, 65% авторских).

10. Visual shape and position sensing algorithm for a continuum robot / R. A. Manakov, D. Y. Kolpashchikov, V. V. Danilov [et al.] // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1019, No 1. – P. 012066. – DOI 10.1088/1757-899X/1019/1/012066 (научное рецензируемое издание, индексируемое в базе Scopus, 35% авторских).

Вклад Колпащикова Д.Ю. в представленных работах: в [2-3, 5, 7] разработаны метод и алгоритм решения обратной задачи кинематики для многосекционных непрерывных роботов с переменной длиной, кривизной и возможностью линейного смещения, в [4] проведен обзор и анализ литературы об истории и современном состоянии робототехники в медицине, в [6] роботизированный катетер описан посредством методов прямой кинематикой для непрерывных роботов переменной кривизны [6], в [8] разработан алгоритм планирования движения для непрерывных роботов для уклонения от столкновения с препятствиями, в [9] разработан алгоритм планирования движения для непрерывных роботов с целью маневрирования при контакте с препятствиями, в [10] разработан алгоритм определения положения и ориентации кончика непрерывного робота на видеоизображениях, в [1] проведены эксперименты с реальным непрерывным роботом.

Во всех работах, выполненных в соавторстве, определен личный вклад автора.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- официального оппонента, доктора физико-математических наук, доцента, Малолетова Александр Васильевича, 5 замечаний;
- официального оппонента, кандидата технических наук, Костюкова Владимира Александровича, 7 замечаний;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск. Отзыв подписал к.т.н., заведующий научно-аналитическим центром ИСЭМ СО РАН, Михеев Александр Валерьевич, 2 замечания;

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет», г. Брянск. Отзыв подписал к.т.н., доцент, профессор кафедры «Информатика и программное обеспечение» Подвесовский Александр Георгиевич, 2 замечания;

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-инженерный центр «Надёжность и ресурс больших систем и машин», г. Екатеринбург. Отзыв подписал д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУН Научно-инженерный центр «Надёжность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения РАН, Тырсин Александр Николаевич, 2 замечания;

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск. Отзыв подписал д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Мехатроника и гидропневмоавтоматика» Шошиашвили Михаил Элшуджевич, 1 замечание;

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград. Отзыв подписал д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Щербаков Максим Владимирович, 1 замечание.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук», г. Москва. Отзыв подписал д.т.н., профессор РАН, главный научный сотрудник Лаборатории 80 Мещеряков Роман Валерьевич, 3 замечания.

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва. Отзыв подписал к.т.н., доцент,

руководитель центра робототехники МТУСИ Воронов Вячеслав Игоревич, 2 замечания.

Все отзывы положительные, во всех отзывах отмечено, что работа соответствует специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы, технические науки.

Наиболее существенные замечания:

1. В диссертационной работе не рассмотрены пространственные случаи в представленных алгоритмах уклонения и взаимодействия с препятствиями. Отсутствие решений планирования движения для пространственного случая существенно ограничивают возможности практического применения разработанных решений.
2. В предложенных автором метриках работоспособности отсутствует обоснование численных значений выбранных критериев. Также автору следовало провести детальный анализ случаев «неуспешных» решений и, в частности, показать распределение ошибок, возникающих в таких решениях.
3. В экспериментальной части автор ограничился только моделированием нескольких частных случаев работы алгоритмов планирования движения, результаты которых он называет проверкой разработанных алгоритмов. Было бы целесообразно исследовать разработанные алгоритмы более детально на большем количестве примеров, выявить возможности и ограничения алгоритмов, выполнить сравнение их между собой.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их достижениями в данной отрасли науки и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Доктор физико-математических наук, доцент Малолетов Александр Васильевич является специалистом в области робототехники, имеет необходимое количество публикаций в рецензируемых ведущих научных журналах по тематике диссертации, в том числе за последние 5 лет 12

публикаций в журналах из списка ВАК и в изданиях, индексируемых в базах SCOPUS и Web of Science. Д.ф.-м.н., доцент, Малолетов А.В. не является членом аттестационной комиссии ЮФУ и членом диссертационного совета ЮФУ801.02.06.

Кандидат технических наук, доцент, Костюков Владимир Александрович является специалистом в области робототехники, имеет необходимое количество публикаций в рецензируемых ведущих научных журналах по тематике диссертации, в том числе за последние 5 лет 11 публикаций в журналах из списка ВАК и в изданиях, индексируемых в базах SCOPUS и Web of Science. К.т.н., доцент, Костюков В.А. не является членом аттестационной комиссии ЮФУ и членом диссертационного совета ЮФУ801.02.06.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие научные результаты, обладающие научной новизной и свидетельствующие о личном вкладе соискателя в науку:

1. Новый метод решения обратной задачи кинематики для одиночной секции изгиба непрерывного робота с переменной кривизной, переменной длиной и возможностью линейного смещения базы, **отличающийся** от существующих итеративным поиском отношения между углом хорды (угол между хордой и касательной к началу секции) и углом изгиба и итеративным подбором линейного смещения базы.

2. Алгоритм решения обратной задачи кинематики для многосекционных непрерывных роботов (FABRIK_x), в основе которого лежит модифицированный алгоритм FABRIK, **отличающийся** от существующих использованием касательных (для определения предварительной позы робота) и хорд (для определения конфигурации и истинной позы робота через алгоритмы прямой и обратной кинематики одиночной секции).

3. Алгоритм планирования движения на основе разработанного алгоритма FABRIKx, **отличающийся** использованием виртуальных звеньев при описании непрерывных роботов, что позволяет предотвращать столкновения с препятствиями.

4. Новый алгоритм планирования движения, **отличающийся** от существующих использованием способности непрерывных роботов маневрировать при контакте с препятствиями, что позволяет учитывать способность непрерывных роботов маневрировать при контакте с препятствием.

Все научные результаты диссертации получены автором лично.

Теоретическая значимость исследования. Диссертация вносит вклад в развитие и совершенствование методов и алгоритмов управления непрерывными роботами. Применительно к проблематике диссертации предложены метод и алгоритм решения обратной задачи кинематики для многосекционных роботов, разработаны алгоритмы планирования движения для уклонения от препятствий.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные метод и алгоритм обратной кинематики превосходят аналоги по доли успешных решений при заданных временных ограничениях, в частности:

- метод для решения обратной задачи кинематики для одиночной секции в среднем обеспечивает на 20% больше успешных решений при ограничении на время решения 0.5 мс, чем аналог;

- алгоритм FABRIKx обеспечивает долю успешных решений до 93.8% для многосекционных непрерывных роботов с переменной кривизной при ограничении на время решения 30 мс.

Внедрение разработанных метода и алгоритмов в программное обеспечение, установленное для проведения работ в области неразрушающего контроля в ООО «Инспайр» (г. Томск), дало возможность увеличить маневренность робота при оценке дефектов деталей. Результаты

внедрения отражены в акте внедрения, утверждённом директором ООО «Инспайр» Михалевич С.С. 26.05.2022 г.

Результаты диссертации исследования использовались при выполнении: х/д 15.10-421 от 18.10.2021 «Реализация алгоритмов управления роботизированной системой на прототипе программно-аппаратного комплекса», гранта РФФИ 20-38-90143 «Методы планирования и управления движением непрерывного робота при учете контактов робота с препятствиями».

Достоверность и обоснованность научных результатов в достаточной мере подтверждается соответствием теоретических и практических результатов, применением математического аппарата, корректным и достаточно строгим использованием методов математического моделирования. Научные положения и выводы логичны, основаны на комплексном подходе к решению задачи, подкреплены грамотно проведенными экспериментами. Описание результатов моделирования представлено достаточно подробно и допускает их воспроизводимость. Результаты работы представлялись на научных конференциях и семинарах международного и всероссийского уровня.

Личное участие соискателя состоит в выполнении всех этапов диссертационного исследования: постановке и формулировке задач исследования; проведении исследований, включая разработку: метода и алгоритма решения обратной задачи кинематики; алгоритмов планирования движения. Соискателем лично реализован программный продукт на основе разработанных метода и алгоритма. Проведены эксперименты, подтверждающие полученные в работе научные результаты.

На заседании 22 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Колпащикову Д.Ю. ученую степень кандидата технических наук, так как в его диссертации содержится **решение актуальной научной задачи** разработки метода и алгоритмов обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных

роботов, повышающей долю успешных решений обратной задачи кинематики при заданных временных ограничений. Предложенные автором диссертации решения обоснованы строгостью примененного математического аппарата, проведена их сравнительная оценка с другими известными решениями. В диссертации отсутствуют заимствования без ссылок на авторов или источник заимствования. Приведены ссылки на все использованные в диссертации результаты научных работ, выполненные соискателем лично и в соавторстве. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Разработанные в диссертации метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов могут быть рекомендованы к внедрению на промышленных производствах, оснащённых непрерывными роботами, а также могут быть использованы в научных организациях, занимающихся исследованиями и разработкой непрерывных роботов.

Диссертация Колпащикова Дмитрия Юрьевича на тему «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов» является завершённой научно-квалификационной работой, обладающей теоретической и практической значимостью, внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку и соответствует критериям положения «О присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» (в редакции от 30.11.2021 г., приказ №260-ОД) к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки),

«22» сентября 2023 г.

