

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу и автореферат Колпащикова Д. Ю.
на тему «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования
движения для многосекционных непрерывных роботов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности

2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Актуальность темы исследования

Непрерывные роботы относительно новый вид роботов, который зарекомендовал себя со стороны хорошей манёвренности, гибкости, малых размеров, что позволяет таким роботам работать в неструктурированных пространствах со множеством препятствий. Поскольку непрерывные роботы совершают движения за счет упругого изгиба, то это приводит к нелинейности поведения роботов, что в свою очередь усложняет их кинематику, и как следствие, управление. В последние годы алгоритмы кинематики и планирования движения для непрерывных роботов стали активно развиваться. Однако, проблемы недостаточной точности и высокой сложности остаются нерешенными, а следовательно, тема диссертационного исследования Колпащикова Д.Ю., посвященная разработке новых метода и алгоритмов решения обратной задачи кинематики и планирования движения, является несомненно актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Колпащикова Д.Ю. состоит из введения, трех глав основного содержания, списка литературы из 133 наименований и 2 приложений. Основная часть работы содержит 127 страниц, в том числе 33 рисунка и 13 таблиц.

Структура диссертации и ее оформление соответствуют ГОСТ Р 7.0.11-2011. Содержание автореферата соответствует основным идеям, результатам, выводам и положениям диссертации.

Во введении соискателем обоснована актуальность темы диссертации, обозначена решаемая проблема, поставлены цель и задачи исследования, определены объект, предмет, методы исследования, научная новизна, теоретическая

и практическая значимость работы, приведены сведения об основных положениях, выносимых на защиту, и апробации результатов диссертационного исследования, определен личный вклад автора.

Первая глава «Актуальность исследования, обзор и анализ решений прямой и обратной задач кинематики непрерывных роботов» посвящена описанию непрерывных роботов, существующих методов и алгоритмов прямой и обратной кинематики. Выделено допущение о кусочно-постоянной кривизне, как наиболее перспективное. Это допущение говорит о том, что секцию изгиба можно представить как последовательность дуг круга, каждая из которых имеет постоянную кривизну. Отмечен алгоритм FABRIK, который показал высокую эффективность как в работе с жесткими манипуляторами, так и с непрерывными роботами. Дано описание существующих алгоритмов планирования движения для непрерывных роботов.

Во второй главе «Разработка метода и алгоритмов обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов» соискатель подробно описывает разработанные метод и алгоритмы:

1) Метод решения обратной задачи кинематики для одиночной секции изгиба переменной длины, описанной допущением о кусочно-постоянной кривизне, и способной линейно сдвигать базу. Метод использует хорду для итеративного нахождения угла изгиба;

2) Алгоритм FABRIK_x, являющийся модификацией алгоритма FABRIK. Алгоритм на этапе прямого следования заменяет секции изгиба на два отрезка касательных и на основе этого определяет предварительную позу. На этапе обратного следования определяется конфигурация робота и истинная поза робота;

3) Алгоритм планирования движения, который позволяет непрерывному роботу уклоняться от препятствий.

4) Алгоритм планирования движения, который использует контакты с препятствиями для маневрирования.

В третьей главе «Результаты применения разработанных метода и алгоритмов в симуляции» представлены результаты экспериментального исследования предложенных алгоритмов. Соискатель использует серию экспериментов для оценки эффективности алгоритмов и сравнивает полученные результаты с результатами работы двух аналогичных алгоритмов. Результаты экспериментов показали, что метод и алгоритм обратной

кинематики способны решить большую долю задач обратной кинематики за сравнительно малое время. Алгоритмы планирования движения способны осуществлять планирование движения с учетом препятствий в режиме реального времени.

В заключении соискателем изложены основные полученные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Автором предложены актуальные в научном и прикладном отношении решения обратной задачи кинематики и планирования движения, что повышает эффективность использования непрерывных роботов. Решение задачи Колпациковым Д.Ю. достигнуто за счет отличающихся научной новизной следующих результатов исследования:

1) Метод решения обратной задачи кинематики для одиночной секции изгиба, отличающийся от существующих итеративным подбором отношения между углом хорды и углом изгиба;

2) Модификация итеративного алгоритма FABRIK для решения обратной задачи кинематики для многосекционных непрерывных роботов, отличающаяся использованием касательных (для определения предварительной позы робота) и хорд (для определения конфигурации робота через алгоритм обратной кинематики и истинной позы робота через алгоритм прямой кинематики);

3) Алгоритм планирования движения робота в режиме реального времени для предотвращения столкновения с препятствиями, в основе которого лежит разработанный алгоритм обратной кинематики;

4) Алгоритм планирования движения в режиме реального времени, позволяющий планировать движения с учетом способности непрерывных роботов взаимодействовать с препятствиями.

Обоснованность и достоверность, практическая значимость научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы и основные положения, выносимые соискателем на защиту, логично вытекают из содержания диссертационной работы.

Достоверность и обоснованность исследований и полученных в диссертации результатов не вызывают сомнений и в достаточной мере подтверждаются корректным применением методов исследований, обоснованными доказательствами основных положений, а также

практическим использованием в ООО «Инспайр», что подтверждается соответствующим актом о внедрении. Разработанные алгоритмы были использованы 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». Указанная успешная реализация на практике полученных автором в ходе выполнения диссертационной работы результатов подтверждает практическую значимость этих результатов.

Необходимо отметить, что соискателем подготовлены и опубликованы три статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получен один патент на изобретение, три свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, а диссертационная работа достаточно апробирована на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Замечания по диссертационной работе

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания.

1. Понятие "база" для робота начинает использоваться в тексте диссертации до его точного определения.

2. В формуле (1.13) переменные B_{ij} имеют, по всей видимости, другой смысл, нежели компоненты матрицы вращения. Если так, то они не определены перед формулой (1.13).

3. В пояснениях к формуле (2.5), скорее всего, в предложении: "При $S_{str_delta}=0$ максимальный угол изгиба $teta_max=0$ " следует заменить $teta_max$ на $teta_str_max$, что следует из структур дроби в (2.5), а также

из того, что $teta_max$ заявлена выше по тексту пояснительной записки как глобальный максимум изгиба.

4. В диссертации отсутствует обоснование порядка следования перемножаемых матриц в произведениях, даваемых формулами (2.6) и (2.7). Безусловно, такое обоснование важно для понимания и возможности быстрой верификации выкладок автора, даже если этот результат взят как готовый из некоторых источников.

5. Для смыслового согласования результатов численных экспериментов, описываемых графиками на рисунках 3.10 – 3.12, с утверждениями автора о преимуществах нового алгоритма FABRIKx по сравнению с FABRIKc для случаев с ограничениями по углу изгиба,

необходимо было поменять местами столбцы графиков для каждого указанного выше рисунка.

6. Несмотря на то, что введенный матричный формализм однородных преобразований позволяет работать в трехмерном пространстве, в диссертации на этапе численного моделирования были рассмотрены только двумерные задачи. Хотелось бы получить от автора соответствующие пояснения, касающиеся возможности использования его метода для моделирования пространственных изгибов непрерывных роботов – на данный момент или в перспективе возможного его развития.

7. Из текста диссертации не понятно, на основе каких данных и требований выбирались точность и ограничение по времени в каждом конкретном численном эксперименте.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности проведенного диссертационного исследования и не влияют на общую положительную оценку.

Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертационной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Колпащикова Д.Ю. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, написана на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью, имеет завершенный характер, выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Автором диссертации самостоятельно получено решение научно-технической проблем решения обратной задачи кинематики и планирования движения, имеющей существенное значение для развития теории и практики применения непрерывных роботов. Содержание диссертации соответствует пункту 5 паспорта специальности «Технические науки. 2.5.4 - Роботы, мехатроника и робототехнические системы». Автореферат соответствует содержанию диссертации, а ее основные положения опубликованы в научных работах.

Считаю, что диссертация Колпащикова Д.Ю. «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов» удовлетворяет всем квалификационным требованиям, установленным разделом 2 положения «О присуждении ученых степеней в ЮФУ» в редакции от 30.11.2021 г. приказ №260-ОД, а ее автор, Колпащиков Дмитрий Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Доцент кафедры «Электротехники и механики»,
ГФОУ ВПО «Южный
федеральный университет»,
к.т.н., доцент



ПОДПИСЬ

Владимир Александрович Костюков
«05» 09 2023 г.

344006, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Тел.: +7 (863) 218-40-00

E-mail: info@sfedu.ru

Адрес сайта организации: <https://sfedu.ru>

Согласен на обработку персональных данных.



ПОДПИСЬ

Владимир Александрович Костюков

Подпись к.т.н. Костюкова Владимира Александровича удостоверяю

«05» 09 2023 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет»
Личную подпись Костюков В.А.

ЗАВЕРЕНО:

Начальник сектора

Острейков
05 09 20

