

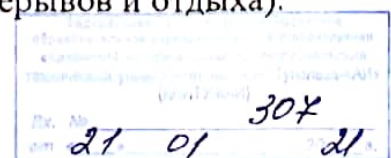
ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Южакова Александра Анатольевича на диссертацию Ван Цзяньюань "Алгоритм управления ходьбой антропоморфных роботов и экзоскелетов по подвижной поверхности", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы диссертационной работы.

В настоящее время робототехника становится одним из важнейших направлений развития науки и техники в мире. Промышленная робототехника активно развивается уже с конца прошлого столетия и широко применяется на производстве во всем мире. Применение сервисных, биоморфных, антропоморфных роботов в настоящее время переживает бурный рост, что подтверждается развитием рынка сервисных роботов. При этом активно разрабатываются и внедряются интеллектуальные алгоритмы управления и распознавания, решаются проблемы автономного управления роботами. Однако антропоморфных шагающих роботов, демонстрирующих хорошие динамические характеристики передвижения и удовлетворяющих требованиям заказчиков можно перечислить по пальцам. Это связано с тем, что для организации прямохождения робота необходимо решать огромное количество сложных задач математического моделирования, динамики и управления, причем в онлайн режиме. Поэтому разработка методов и алгоритмов управления ходьбой антропоморфного робота является актуальной и востребованной задачей.

Облик антропоморфного робота по определению близок к облику человека. Следовательно движения антропоморфных роботов подобны движениям людей, включая ходьбу, бег или прыжки. Экономическая целесообразность применения антропоморфных роботов связана с тем, что существующее оборудование, инструменты, приспособления и помещения, используемые человеком применимы для антропоморфных роботов. Практически все современные технические устройства и системы предполагают использование человека в контуре управления, включая физическое воздействие на органы управления. Антропоморфный робот способен заменить человека в этой роли в условиях опасных для человека (спасательные операции и ликвидация последствий аварий, катастроф и эпидемий, военные действия, освоение других миров) и (или) требующих функционирования в непрерывном режиме (без перерывов и отдыха).



Актуальность исследования устойчивости ходьбы антропоморфных роботов также связана с возможностью их применения для управления экзоскелетами различного назначения, поскольку позволяет человеку сосредоточиться на выполнении целевых задач, не отвлекаясь на обеспечение устойчивости движения.

С расширением сфер применения антропоморфных роботов становится все более актуальным управление движением по нестационарным поверхностям: вязким, упругим, неровным, подвижным. Разработка алгоритмов управления походкой антропоморфного робота по подвижной поверхности может значительно повысить приспособляемость антропоморфного робота к сложной и разнообразной окружающей внешней среде.

Оценка содержания диссертационной работы.

Диссертация Ван Цзяньюаня состоит из введения, шести глав и заключения. Она изложена на 181 страниц машинописного текста. Содержит 82 рисунка, 9 таблиц, список использованной литературы из 163 наименований на 11 страницах, 2 приложения на 28 страницах.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, приводятся выносимые на защиту основные научные положения и задачи. Приведен обзор известных результатов научных исследований по тематике диссертационной работы.

В первой главе проведен детальный анализ развития способов и подходов построения организации ходьбы антропоморфных роботов, проанализированы существующие методы и подходы к планированию походки и управлению ходьбой антропоморфного робота.

Во второй главе введены и обоснованы принятые допущения, используемые для моделирования походки антропоморфного робота, на основании которых сформирована многозвенная модель двуногого робота. На базе созданной модели отдельно рассматриваются движение в продольном и поперечном (боковом) направлениях, описаны решения задач прямой и обратной кинематики в этой модели. По методу точки нулевого момента (ZMP) определены области устойчивости с гарантированным запасом.

В третьей главе на основе программной траектории движения антропоморфного робота и перемещения его стоп разработан метод планирования его ходьбы на основе кубической сплайн-интерполяции по характерным точкам перемещения стоп во время цикла ходьбы. Сформулирован критерий оптимальности походки, на основании которого

предложена составная целевая функция. Она содержит компонент, определяющий запас устойчивости по ZMP и компонент, характеризующий степень плавности походки. Целевая функция представляет собой функционал, который зависит от трех параметров походки, определяющих положение голеностопных суставов относительно тазобедренных суставов в ключевых точках цикла ходьбы в продольной и боковой плоскости. Значение функционала рассчитываются по разработанной динамической модели робота путем численного интегрирования уравнений движения. Для оптимизации используется алгоритм поиска «косяком рыбы», относящийся к категории популяционных биоинспирированных алгоритмов (П-алгоритмы), ориентированных на решение задач глобальной оптимизации. Результаты моделирования показывают, что синтезированная таким образом походка адекватно работает на реальном объекте (антропоморфный робот РОМА) и подтверждают эффективность предложенных методов.

В четвертой главе, предложен метод и разработан комплексный алгоритм управления ходьбой антропоморфного робота, имеющего датчики обратной связи для определения ZMP, положения тела, наклона земли и реакции земли. Алгоритм позволяет управлять приводами голеностопного и тазобедренного суставов робота, формируя управляющие сигналы путем ориентации стопы в момент касания поверхности на основе измерений датчиками давления в нескольких точках на опорной стопе робота и измерений положение корпуса робота относительно местной вертикали. Предложенный метод управления обеспечивает устойчивость ходьбы робота по наклонной поверхности и поверхности с нерегулярными неровностями.

В пятой главе на основе применения пакета ADAMS разработана наглядная и удобная система моделирования робота на основе параметрической модели. При этом основное внимание уделено созданию пользовательского интерфейса, посредством которого можно быстро изменять параметры робота, состояния обобщенных координат и ограничений (начальная ориентация звеньев и свойства поверхности передвижения), которые используются для расчета динамики движения робота в пакете ADAMS.

В шестой главе, сформирована структурная схема разработанной системы управления в среде MATLAB/SIMULINK для моделирования ходьбы робота в пакете ADAMS, описана настройка параметров, необходимых для организации взаимодействия между средами моделирования и управления. С помощью разработанной имитационной модели получены численные результаты параметров ходьбы антропоморфного робота по подвижной поверхности. Анализ результатов

моделирования показал, что предложенная система управления устойчивостью и плавность передвижения робота по подвижной поверхности. Также продемонстрирована возможность использования системы автоматического управления ходьбой, разработанной для антропоморфных роботов и экзоскелетов нижних конечностей при движении по подвижной поверхности.

В заключении сформулированы основные результаты выполненного диссертационного исследования и области практического применения.

Автореферат диссертационной работы в полной мере отражает ее основное содержание. Основные результаты диссертации опубликованы в 6 работах, 2 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, имеется 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты исследований апробированы на конференциях международного и всероссийского уровней.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертации подтверждается корректным применением известных методов аналитической геометрии, численного решения нелинейных дифференциальных уравнений, оптимизации, теории автоматического управления и теории дискретных систем управления непрерывными системами и подтверждена результатами численного моделирования, а также совпадает с результатами полученными другими авторами.

Научная новизна исследования и полученных результатов:

1. Метод управления ходьбой антропоморфного робота по подвижной поверхности за счет управления положением опорных стоп и ориентации корпуса робота с использованием нескольких датчиков распределения сил по стопе робота.

2. Метод управления ходьбой антропоморфного робота, имеющего датчики обратной связи для определения ZMP, положения тела, наклона земли и реакции земли, что позволяет управлять приводами голеностопного и тазобедренного суставов робота, формируя управляющие сигналы путем ориентации стопы в момент касания поверхности на основе измерений датчиками давления в нескольких точках на опорной стопе робота и измерений положение корпуса робота относительно местной вертикали.

3. Синтез походки путем решения задачи параметрической оптимизации составного критерия, учитывающего запас устойчивости и плавность движения.

Теоретическая значимость работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе Ван Цзяньюаня, имеют теоретическое значение, заключающееся в:

- разработке математических моделей ходьбы двуногого робота,
- создании метода синтеза программной траектории ходьбы (походки) антропоморфного робота на основе оптимизации составного критерия, определяющего запас устойчивости и плавность ходьбы,
- разработке метода управления, обеспечивающего передвижение антропоморфного робота и экзоскелета нижних конечностей человека по подвижной поверхности.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке комплекса программ для решения различных практических задач управления ходьбой антропоморфного робота и экзоскелета нижних конечностей человека. Разработанные в рамках диссертационной работы Ван Цзяньюаня методы и средства математического моделирования ходьбы антропоморфных роботов и программное обеспечение применяются в учебном процессе, а также использованы при разработке малого антропоморфного робота РОМА в ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Представленная Ван Цзяньюань диссертационная работа на тему «Алгоритм управления ходьбой антропоморфных роботов и экзоскелетов по подвижной поверхности» соответствует пунктам 3, 5, 6 и 8 паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Разработанный автором метод «управления ходьбой антропоморфного робота, имеющего датчики обратной связи для определения ZMP, положения тела, наклона земли и реакции земли, что позволяет управлять приводами голеностопного и тазобедренного суставов робота, формируя управляющие сигналы путем ориентации стопы в момент касания поверхности на основе измерений датчиками давления в нескольких точках на опорной стопе робота и измерений положение корпуса робота относительно местной вертикали» не отражен в научной новизне работы.

2. В первой главе не отражены достоинства и недостатки имеющихся методов управления ходьбой робота и не сформулированы задачи, которые будут устранять ряд этих недостатков.

3. Имеются терминологические неточности, например антропоморфный робот – необязательно робот, передвигающийся на двух ногах. «маленький антропоморфный робот» - это что? Устойчивость и запас устойчивости определяются не так, как принято в теории управления (рис.4.4).

4. В работе не приводится обоснование ряда выбранных для решения методов, алгоритмов и параметров:

- для оптимизации - метод поиска «косяком рыб»,
- почему метод поиска «косяком рыб» выполняется 10 раз, и что будет, если выполнить 5 или 15 раз?

- не обосновано установка количества датчиков в стопе,

- как взаимодействуют каналы управления на рис. 4.2?

и ряд других.

5. Отсутствие условий и описания эксперимента при имитационном моделировании затрудняет восприятие результатов последнего.

6. Оформление работы имеет ряд неточностей, например рис. 3.6 и 3.8, рис. 3.7. и 3.9 имеют одинаковые названия, два рисунка (на стр.84 и 85) имеют одинаковое обозначение, список используемой литературы построен с нарушениями требований стандарта.

Приведенные замечания не носят принципиального характера и в целом не меняют общего положительного заключения о выполненной диссертационной работе.

Заключение.

Диссертационная работа Ван Цзяньюаня на тему «Алгоритм управления ходьбой антропоморфных роботов и экзоскелетов по подвижной поверхности» соответствует требованиям «Положения присуждении учёных степеней», предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», является целостной завершенной научно-квалификационной работой, в которой предложено решение актуальной научной задачи разработки моделей и методов для управления ходьбой антропоморфного робота по подвижной поверхности. Результаты работы имеют научную новизну, теоретическую и

практическую значимость в областях математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

Автор работы, Ван Цзяньюань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Автоматика и телемеханика»
Пермского национального исследовательского
политехнического университета

Южаков А.А.

Подпись профессора Южакова Александра Анатольевича

Ученый секретарь
к.и.н., доцент



Макаревич В.И.