

УТВЕРЖДАЮ:

директор Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт
прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук», член-корреспондент РАН

А.И. Аптекарев



2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного учреждения

"Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук".

Диссертация «Определение параметров движений человека» выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

В период подготовки диссертации соискатель Подопросветов Алексей Валерьевич обучался в аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и работал во ВНИЛ БР ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

В 2018 г. окончил Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова по специальности 01.05.01 --- фундаментальные математика и механика, диплом ААК 1601379 от 30.06.2018.

Справка об обучении по программе научно-педагогических кадров в аспирантуре с результатами сдачи кандидатских экзаменов выдана Федеральным государственным учреждением "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» в 2022 г.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Орлов Игорь Александрович работал в Федеральном государственном учреждении "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» - главный научный сотрудник в отделе № 5 «Механика космического полета и управление движением» сектор 1 «Математическое моделирование космических систем и процессов».

По итогам обсуждения принято следующее Заключение:

Оценка работы, выполняемой соискателем ученой степени. Диссертация Подопросветова Алексея Валерьевича посвящена актуальной теме биомеханической оценки деятельности человека. В настоящее время существует направление развития компаний, посвященное индустрии 4.0, данная работа относится к таким ее темам как «автоматизация и роботизация», «интеграция ИТ-систем» и «симуляция и моделирование».

В работе предложена система разностороннего анализа последовательностей движений человека, в которую входят методы анализа кинематических и динамических характеристик, методы сбора данных о движении человека, методы кластеризации, классификации и предсказания последовательностей движений человека. Данная система может позволить вывести на новый уровень как безопасность работы людей, так и коллаборативную робототехнику необходимые в индустрии 4.0.

Соискателем были созданы способы определения динамических параметров и энергозатрат при движении сегментов тела человека с использованием микромеханических датчиков на основе биомеханической модели. Дано теоретическое обоснование разработанным способам определения динамических характеристик.

Разработан метод полуавтоматической калибровки системы, состоящей из инерциальных датчиков и сегментов тела человека, на которых они размещены.

Разработана аппаратно-программная система позволяет корректно собирать, хранить, фильтровать данные с датчиков для последующей визуализации в модельной системе координат.

Выполнено сравнение алгоритмов определения последовательности движения на основе эксперимента с данными из разных источников с целью получения достоверных данных сравнение выполнено при одинаковых методиках получения конечного результата. На основе которых можно сделать вывод что использование микромеханических датчиков дает существенный прирост в точности по метрике точности до 98.61%. Более того затраты времени на вычисления упали в десять раз и была исключена обработка данных на GPU, из за чего выросла скорость обработки данных с 16Гц до 100Гц.

Разработан алгоритм автоматического восстановления трехмерных данных о движении сегментов тела человека (скелетных данных) на основе видео. Предложенный алгоритм позволяет извлекать трехмерную информацию о движении человека из двух и более двухмерных некомпланарных изображений.

Разработана система моделей для анализа последовательностей движений человека. В рамках данной системы были построены методы машинного обучения на основе данных микромеханических датчиков и данных видео фиксации. Методы способны идентифицировать текущую последовательность движений (действие) человека, предсказывать последующее действие и определять момент начала последующего действия. Такая система может быть использована в различных областях, включая разработку интерактивных систем виртуальной и дополненной реальности, контроль за движением в спорте или медицине.

Разработаны программные средства для прогнозирования положений и ускорений сегментов тела человека на 1 секунду вперед, которая учитывает последовательность движений сегментов тела человека в предыдущие моменты времени.

Проведен лабораторный эксперимент по апробации системы моделей для анализа последовательностей движений человека. В экспериментах получена достаточно хороший результат по метрике точности для классификации --- 99%, для предсказание следующего действия --- 93% и предсказание момента начала следующего действия --- 91%.

Достоверность результатов. Важной особенностью предложенной системы является использование известных программных пакетов биомеханики для вычисления динамических параметров сегментов модели тела человека. Это позволило приблизить точность разработанных методов к промышленным стандартам и в дальнейшем обеспечить возможность широкого распространения разработанных методов. Для достоверности результатов также были использованы известные математические методы теоретической механики, математической статистики, математического анализа, теории вероятностей, численные методы и методы оптимизации. Для аналитических и численных расчётов использованы стандартные, известные математические методы. Результаты полученные соискателем подтверждаются в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией на российских и международных конференциях и семинарах.

Таким образом, в работе представлено построение системы, позволяющее проводить разносторонний анализ типичных последовательностей движений человека, который необходим для оценки рабочего места, здоровья, эргономики и при построения системы управления экзоскелетом. Главной особенностью предложенной системы является широкая прикладная применимость, так как система приближена к промышленным стандартам использования.

Научная новизна обусловлена тем, что работа посвящена анализу последовательностей движений человека в узкой, но не представленной в литературе области: в условиях работы на промышленном предприятии.

- Предложен методы вычисления динамических параметров и оценки энергозатрат тела человека на основе показаний микромеханических датчиков и их теоретическое обоснование.
- В работе представлено программно-аппаратное решение теоретико-практической задачи по созданию инструмента для сбора и хранения данных, необходимого для обнаружения и определения последовательностей движений людей.
- Предложен новый метод калибровки датчиков, расположенных на теле человека, основанный на применении статических методов и функциональных подходов калибровки.

- Предложен новый свободный от вырождений метод восстановления пространственного положения объекта по его нескольким плоским некомпланарным изображениям.
- Был разработан инструмент промышленного образца для сбора, хранения и обработки инерциальных данных в качестве восстановленных кинематических скелетных данных (данные о движении основных частей тела человека и суставов их соединяющих в трехмерном евклидовом пространстве). Автором предлагается алгоритм, обобщающий существующие методы восстановления кинематики движений человека.
- Разработка и апробация новых классификаторов последовательностей движений из разных источников данных и прогнозирование движения сегментов тела человека на основе данных микромеханических датчиков, соответствующих типовым паттернам человеческих движений. Соискателю удалось обобщить решение построенной модели на специализированные действия рабочих на промышленном предприятии слабо представленные в литературе.

Практическая и теоретическая значимость. Все методы машинного обучения были опубликованы для открытого использования, также, как и усовершенствованный полуавтоматический алгоритм калибровки датчиков к сегменту тела человека на котором они расположены. Универсальность предложенного инструмента для сбора данных позволила использовать большинство существующих обучающих наборов данных для построения методов машинного обучения для разных целей.

Результаты научного исследования применимы в развивающихся областях коллаборативной робототехники для усовершенствования взаимодействия человека с технологическим оборудованием и роботами. Разработанный инструмент имеет значение для развития отрасли анализа эргономики работников на промышленном предприятии. Проведенные научные эксперименты позволяют оценивать производительность и контролировать безопасность рабочих на предприятии.

Соответствие диссертации специальности.

Диссертация соответствует паспорту специальности (ПС) 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин. Предложены методы вычисления динамических параметров и оценки энергозатрат тела человека на основе биомеханической модели тела человека, что соответствует направлению 7 и их теоретическое обоснование направлению 1.

Личный вклад соискателя. Результаты, изложенные в работе, получены автором лично, являются новыми и представляют научный интерес. Основные результаты диссертации полно отражены в семи работах.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и международных баз цитирования:

1. Алгоритм калибровки группы MIMU датчиков / А. В. Подопрсветов [и др.] // Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. — 2021.
2. Применение нейронных сетей для предсказания физических действий человека / А. В. Подопрсветов [и др.] // Препринты Института прикладной математики им. МВ Келдыша РАН. — 2021.
3. Методы управления движением искусственной мышцы и экзоскелета верхней части тела на ее основе / Чумичев М.А., Подопрсветов А.В., [и др.]// Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2021. № 37. С. 1-24
4. Comparison of action recognition from video and imus / Podoprosvetov A.V., Orlov I.A., Alisejchik A.P. В сборнике: Procedia Computer Science. 14. Сер. "14th International Symposium "Intelligent Systems", INTELS 2020" 2021. С. 242-249.
5. Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями Кий К.И., Подопрсветов А.В. [и др.] Программирование. 2020. № 6. С. 41-54.
6. Искусственные мышцы (обзорная статья) Алисейчик А.П., Грибков Д.А., Ефимов А.Р., Орлов И.А., Павловский В.Е., Подопрсветов А.В., Хайдукова И.В. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2022. № 2. С. 137-161.
7. Актуальность использования промышленных экзоскелетов для снижения количества профессиональных заболеваний опорно-двигательного аппарата

верхней части тела Орлов И.А., Алисейчик А.П., Меркулова А.Г., Комарова С.В., Белая О.В., Грибков Д.А., Подопросветов А.В., Павловский В.Е., Ефимов А.Р., Бетц К.В. Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 7. С. 412-416.

Основные результаты работы докладывались на:

1. Procedia Computer Science. 14. Сер. "14th International Symposium "Intelligent Systems", INTELS 2020
2. 21st International Conference "Complex Systems: Control and Modeling Problems", CSCMP 2019.
3. XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. 2019

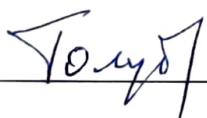
Диссертация «Определение параметров движений человека» Подопросветова Алексея Валерьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Заключение принято на заседании Семинар «Механика и управление движением» (Семинар 5 отдела)

Присутствовало на заседании 15 чел.

Выступили с положительной оценкой диссертации: Ю.Ф.Голубев, М.Ю.Очинников, В.А. Карташев.

Результаты голосования: "за" - 15 чел., "против" - 0 чел., "воздержалось" - 0 чел., протокол N 62 от "6" июля 2023 г.



Ю.Ф. Голубев, д.ф.-м.н. профессор,
г.н.с. отдела №5, и.о. заведующий отделом,
руководитель семинара

«21» августа 2023 г.