

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической кибернетики и компьютерных наук

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ И ОЦЕНКИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОБЫ РОМБЕРГА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 451 группы
направления 09.03.04 — Программная инженерия
факультета КНиИТ
Янущика Ильи Андреевича

Научный руководитель

зав.каф.техн.пр.,

к. ф.-м. н., доцент

И. А. Батраева

Заведующий кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

С. В. Миронов

Саратов 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Описание пробы Ромберга	4
1.1 Важность и методы оценки координации и баланса человека	4
1.2 Методы оценки риска падений	4
1.3 Проба Ромберга: оценка равновесия и неврологических нарушений	5
1.4 Отклонения, определяемые тестом Ромберга	5
1.5 Оборудование для пробы Ромберга	6
1.6 Машинное зрение для определения ключевых точек тела	6
1.7 Существующие решения для анализа равновесия	6
1.7.1 Визуальные маркеры	6
1.7.2 Изменения Освещенности	7
1.7.3 Трехмерная реконструкция	7
2 Разработка приложения	8
2.1 Описание задачи	8
2.2 Описание используемых технологий и алгоритмов	8
2.2.1 Нейросеть MoveNet для детекции ключевых точек на теле ..	8
2.2.2 Использование TensorFlow Lite	8
2.2.3 Обработка и визуализация данных с помощью OpenCV	8
2.2.4 Построение и расчет векторов между ключевыми точками .	8
2.3 Разработка пользовательского интерфейса	9
2.4 Реализация механизма накопления и анализа данных углов от- клонения	9
2.5 Проведение тестирования приложения на реальных данных с уча- стием добровольцев	10
2.6 Анализ отклонений тела человека	10
2.7 Нахождение корреляции с результатами работы стабиллоплатформы	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	12

ВВЕДЕНИЕ

В наше время технологии играют важную роль в улучшении качества жизни и здоровья людей. Одним из значимых направлений является создание приложений, способных оценивать физическое состояние и двигательные функции человека, включая задачи мониторинга стабильности и координации движений.

Настоящая работа разработана в рамках программы «Стартап как диплом». Проект представляет собой решение в области анализа постурального контроля и может быть внедрен в медицинские и реабилитационные учреждения.

Разработка выполнена несколькими участниками, каждый из которых отвечал за ключевые направления:

Сахнов Максим разработал алгоритм для детекции ключевых точек с использованием нейросети, алгоритм фильтра Калмана для сглаживания координат, методику оценки центра масс, модуль формирования графиков движения тела.

Илья Янущик разработал механизм накопления и анализа данных углов отклонений, модуль обработки кадров видеозаписей, пользовательский интерфейс, методику оценки средней линии графа.

Совместно с ведущим научным сотрудником факультета фундаментальной медицины и медицинских технологий доктором медицинских наук С. И. Киреевым и сотрудниками отделения неврологии 3-й Советской больницы города Саратова были также произведены испытания приложения с реальными пациентами в условиях поликлиники. Совместно с медицинскими работниками был произведен анализ результатов.

Целью данной дипломной работы является разработка приложения, способного автоматически определять углы отклонения тела человека при выполнении пробы Ромберга с помощью видеоанализа.

В рамках работы будут рассмотрены и реализованы следующие задачи:

1. Изучение методов оценки координации и баланса человека.
2. Разработка приложения с применением алгоритма машинного зрения для детекции и отслеживания ключевых точек тела на видео.
3. Анализ и обработка результатов работы модели и результатов работы медицинского оборудования с участием реальных пациентов.

1 Описание пробы Ромберга

1.1 Важность и методы оценки координации и баланса человека

В спорте и медицине оценка стабильности человека играет важную роль, поскольку она является ключевым показателем здоровья, физической формы и функциональности. Способность поддерживать равновесие и координировать движения в различных условиях определяет уровень стабильности тела. Плохая стабильность может привести к травмам, падениям и снижению качества жизни, поэтому её оценка имеет большое значение как в медицинской практике, так и в спортивной деятельности.

Для качественной оценки координации и баланса человека могут применяться различные методы, включая:

1. Тесты и контрольные испытания — проведение специальных тестов, например, для определения чувства времени, кинестетической чувствительности или способностей к отмериванию и воспроизведению пространственных параметров движения.
2. Анализ временных характеристик движений — изучение временных параметров движений, таких как время отталкивания, время разгона и другие, для оценки согласованности и координированности движений.
3. Экспертная оценка — опытные специалисты могут проводить оценку координации и баланса на основе наблюдений за движениями человека и их устойчивостью.

1.2 Методы оценки риска падений

В медицинской практике существует множество различных оценок равновесия пациентов, ниже представлены некоторые из них.

Оценка физической активности с помощью анкетирования, например с помощью французского опросника «Questionnaire d'activité physique pour les personnes âgées (QAPPA)», который был проверен Де Соуто Барreto и Феррандесом.

Оценка риска падения — тест TUG. Тест TUG является одним из основных контрольных тестов, используемых в клинических условиях для оценки риска падения у пожилых людей.

Способности к равновесию также оцениваются с помощью восьми различных специальных заданий. Эти задания являются частью клинических тестов,

часто выполняемых специалистами здравоохранения для оценки равновесия и риска повторного падения, а именно теста Берга, теста Тинетти и Клинического теста сенсорного взаимодействия и равновесия (CTSIB).

В рамках дипломной работы будем проводить исследования, связанные с еще одним известным способом оценки — пробой Ромберга. Рассмотрим этот метод более подробно.

1.3 Проба Ромберга: оценка равновесия и неврологических нарушений

Проба Ромберга является простым диагностическим инструментом, позволяющим врачу оценить чувство равновесия пациента и выявить неврологические нарушения. Пациенту предлагается встать прямо, соединить ноги, вытянуть руки перед собой или скрестить их на груди и закрыть глаза. Если пациент способен простоять в этой позе 60 секунд, не падая и не отклоняясь в стороны, тест считается отрицательным. В противном случае тест считается положительным.

Если у человека нарушена функция проприоцептивной системы, например, из-за повреждения спинного мозга, зрение и вестибулярный аппарат могут частично компенсировать этот недостаток. Поскольку проба Ромберга проводится с закрытыми глазами, она помогает выявить проблемы именно с проприоцепцией.

1.4 Отклонения, определяемые тестом Ромберга

Тест Ромберга могут назначить человеку, который жалуется на нарушение чувства баланса, головокружения и падения. Положительный результат может указать на следующие проблемы со здоровьем:

1. Синдром Вернике — недостаточное потребление и всасывание тиамина, нередко возникающее на фоне тяжёлого алкоголизма. Симптомы могут включать нарушение походки, дезориентацию, ступор, спутанность сознания.
2. Болезнь Меньера — чрезмерное скопление жидкости во внутреннем ухе, из-за чего возникают головокружения, тошнота, шум в ушах.

1.5 Оборудование для пробы Ромберга

Силовая платформа (стабилоплатформа, стабилограф) – устройство для измерения координат центра давления испытуемого на опору. Координаты центра давления человека отражают его положение в прямоугольной системе координат с взаимно перпендикулярными осями Ox и Oy , где ось Ox обозначает ось абсцисс, а ось Oy — ось ординат. Эти координаты также называют «фронтальными» и «сагиттальными» или просто «координатами X и Y ».

Силовые платформы, используемые в России, аналогичны тем, что применяются в других странах. Обычно это плоские твердые прямоугольные пластины, на которые становится испытуемый. Информация о весе и его распределении обрабатывается чувствительными датчиками, обычно четырьмя тензодатчиками, расположенными по углам пластины. Эти датчики позволяют вычислять координаты центра давления и массу испытуемого.

Благодаря высокой частоте регистрации данных, можно рассчитывать различные статистические характеристики для выборки и строить разнообразные графики на основе получаемой информации.

1.6 Машинное зрение для определения ключевых точек тела

Машинное зрение — это область искусственного интеллекта, занимающаяся созданием компьютерных систем, способных анализировать и интерпретировать изображения или видео. Основная цель машинного зрения заключается в разработке алгоритмов и моделей, которые могут воспринимать и понимать визуальную информацию, аналогично человеческому зрению.

Ключевые точки, или точки интереса, представляют собой определенные точки на изображении, которые характерны для объекта или сцены. Эти точки обладают уникальными признаками, такими как углы, края, цвета или текстуры, и могут использоваться для их идентификации и анализа.

В данной работе ключевые точки — точки тела человека, такие как: плечевой пояс, руки, ноги, тазовый пояс и голова.

1.7 Существующие решения для анализа равновесия

1.7.1 Визуальные маркеры

Одним из методов определения угла наклона человека, предложенный Вьет Хунг Дао и Тхи Ту Хьен Хоанг, является использование бумажной рамки на спине пациента и лазерной указки. Камера фиксирует движение кадра

относительно лазерной точки, затем алгоритм обрабатывает движение тела. Недостаток: необходимость крепить маркер на спину и выставить лазерную указку делает недоступным быструю оценку одним человеком.

1.7.2 Изменения Освещенности

Метод выявления изменений в позе был предложен A. Nalci. В нём использовалась событийная камера (DVS128 от iniLabs) и алгоритмы обработки изображений для измерения изменений освещенности в ключевых точках вокруг тела. Недостаток: дороговизна оборудования для съемки.

1.7.3 Трехмерная реконструкция

Метод, использующий подход к реконструкции тела упоминается в статье T. Kaichi. Этот метод был направлен на вычисление центра масс (CoM) человека-испытуемого с использованием установки с несколькими камерами, при этом каждая камера фиксирует разные ракурсы человеческого тела для создания 3D-реконструкции тела. Недостаток: значительное снижение точности алгоритма при наличии свободной одежды на людях.

2 Разработка приложения

2.1 Описание задачи

Практическая часть работы направлена на разработку приложения, которое позволит автоматически анализировать углы отклонения тела человека при выполнении пробы Ромберга с помощью видеоанализа.

2.2 Описание используемых технологий и алгоритмов

2.2.1 Нейросеть MoveNet для детекции ключевых точек на теле

MoveNet — это высокоскоростная и точная модель машинного зрения, специально разработанная для распознавания поз человека. Она была обучена для определения расположения ключевых точек тела на изображениях и способна работать с высокой частотой кадров.

2.2.2 Использование TensorFlow Lite

Для выполнения модели MoveNet в реальном времени используется TensorFlow Lite (TFLite), платформа, оптимизированная для маломощных устройств. Модель MoveNet обучена в TensorFlow и затем преобразована в формат TFLite. Этот формат оптимизирован для работы на мобильных устройствах, потребляя меньше памяти и выполняя операции быстрее, чем обычная модель TensorFlow.

2.2.3 Обработка и визуализация данных с помощью OpenCV

Для визуализации данных, полученных от модели MoveNet, используется библиотека OpenCV, которая позволяет рисовать линии и соединения между ключевыми точками, а также вычислять углы отклонения тела. Основные этапы обработки включают построение векторов между ключевыми точками, расчет углов отклонения на основе этих векторов и отображение полученных данных на экране.

2.2.4 Построение и расчет векторов между ключевыми точками

Каждая ключевая точка, определенная MoveNet, имеет координаты (x_i, y_i) на изображении, где i — номер ключевой точки. Для определения направлений частей тела строятся векторы между парами точек (например, между плечом и локтем, бедром и коленом) с помощью формулы вектора разности координат.

Векторные координаты используются для вычисления угла между текущим положением тела и предыдущим (или эталонным) положением, что важно для оценки отклонений в процессе выполнения пробы Ромберга.

Затем для расчета угла отклонения между двумя векторами, используется формула, основанная на скалярном произведении векторов. Этот угол используется для оценки отклонения тела от исходного положения. Значения углов записываются в массив для последующего анализа.

2.3 Разработка пользовательского интерфейса

Для создания интерфейсной части приложения использовалась библиотека Kivy. Kivy — это открытая библиотека для разработки многоцелевых приложений с графическим интерфейсом на языке Python. Подходит для разработки приложений для различных платформ, включая Windows, macOS, Linux, Android и iOS.

При создании компонента для работы с камерой в приложении был разработан класс, включающий несколько ключевых методов. В одном из методов была выполнена начальная настройка интерфейса, инициализированы параметры и запущен рендеринг стартового экрана. Затем запускается генерация имени файла для сохранения видео, создаются контейнеры интерфейса и настраивается захват видео с камеры, а также запускается периодическое обновление кадров. Кнопки управления записью и историей привязываются к соответствующим функциям.

Другой метод обрабатывает кадры с камеры: записывает видео, контролирует время записи и обновляет интерфейс. Кадры передаются в модель для определения ключевых точек тела с помощью TensorFlow. Результаты визуализируются — на кадре отображаются связи между точками и сами точки, после чего изображение выводится в интерфейсе. Полученные результаты демонстрируют работу системы распознавания позы в реальном времени.

2.4 Реализация механизма накопления и анализа данных углов отклонения

Для визуализации данных, полученных от модели, использовались библиотеки OpenCV и numpy. Реализованы функции для отрисовки связей между ключевыми точками и их отображения на изображении.

Сначала вычисляются координаты точек с учетом размеров кадра. Для

каждой связи определяется угол между текущим и предыдущим положением, после чего результат сохраняется для дальнейшего анализа. На изображении рисуются линии, соединяющие ключевые точки. Затем отображаются сами точки в виде кругов.

Также были написаны вспомогательные функции для вычисления углов между векторами, для нахождения средних точек и слияния двух массивов.

2.5 Проведение тестирования приложения на реальных данных с участием добровольцев

Далее была осуществлена съемка пациентов, страдающих различными заболеваниями, а также здоровых людей, в условиях поликлиники с использованием разработанного приложения. Целью этой съемки было получение видеоматериала для последующего анализа равновесия и координации движений в процессе выполнения пробы Ромберга.

Пациенты выполняли пробу Ромберга, стоя на плоской поверхности, что позволяло оценить их статическое равновесие. Параллельно с этим процессом происходила запись видеоматериала с помощью разработанного приложения.

Сравнение результатов, полученных от здоровых людей и пациентов с заболеваниями выявило различия в амплитуде и частоте колебаний графа, а также различия в движениях ключевых точек. Это подтвердило возможность использования разработанного приложения для диагностики и мониторинга состояния пациентов с нарушениями равновесия.

2.6 Анализ отклонений тела человека

Цель данного этапа — программное определение угловых и линейных отклонений средней линии тела человека (от головы до живота) для количественной оценки устойчивости. Средняя линия тела представлена в виде массива координат точек, последовательно соединяющих ключевые анатомические точки.

Алгоритм обработки:

1. Выделение первого отрезка. За начальный отрезок принимается верхняя часть средней линии (голова–шея), затем рассчитываются средняя точка отрезка и угол наклона относительно горизонтали.
2. Анализ последующих отрезков. Для каждой пары точек вычисляются угол наклона, отклонение угла — разница между текущим и начальным углом

(положительное значение: наклон вправо, отрицательное значение: наклон влево), смещение по оси X — горизонтальное смещение средней точки относительно начальной, что характеризует боковые колебания корпуса

3. Накопление статистики. Угловые отклонения и смещения сохраняются для последующего анализа.

Предложенный метод позволяет количественно оценивать отклонения тела в сагиттальной (углы) и фронтальной (смещения) плоскостях.

Далее был разработан механизм вывода и интерпретации результата накопления статистики. Механизм включает в себя визуализацию средней линии тела и автоматическую диагностику нарушений равновесия на основе вычисленных угловых и линейных отклонений.

2.7 Нахождение корреляции с результатами работы стабиллоплатформы

Затем были установлены корреляции между метриками, полученными с помощью стабиллоплатформы (как объективный метод) и видеоанализа средней линии тела (как предлагаемый метод), для валидации эффективности разработанного алгоритма.

В исследовании приняли участие 20 пациентов, проходивших пробу Ромберга на стабиллоплатформе с одновременной видеозаписью для анализа средней линии тела. Основной задачей было сопоставление объективных метрик стабиллоплатформы (таких как траектория центра давления (COP), скорость колебаний и амплитуда отклонений) с данными видеоанализа (углы наклона и смещения средней линии).

Результаты показали значимую корреляцию между этими методами: например, максимальный угол отклонения средней линии сильно коррелировал с амплитудой колебаний COP в сагиттальной плоскости, а боковые смещения — с фронтальными отклонениями.

Помимо инструментальных методов, данные сравнивались с субъективной оценкой медиков.

Таким образом, результаты практической части подтверждают потенциал разработанного приложения и его возможности в области анализа и мониторинга движений пациентов с нарушениями равновесия, а также указывают на необходимость дальнейших исследований и разработок в этой области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была разработана и протестирована система для автоматического определения углов отклонения человека на основе видео с использованием машинного зрения.

Были достигнуты следующие основные результаты:

1. Было проведено детальное исследование пробы Ромберга, её клинического значения и методов оценки. Это позволило глубже понять важность теста для диагностики неврологических нарушений.
2. Была создана система, которая обрабатывает углы отклонения, полученные от алгоритма машинного зрения, и накапливает данные для дальнейшего анализа. Это позволяет оценивать изменения в позе человека во время выполнения теста и выявлять отклонения.
3. Приложение было протестировано на реальных данных, что подтвердило его эффективность и точность. Результаты тестирования показали, что система способна корректно определять углы отклонения и выявлять нарушения баланса.
4. Был разработан метод видеоанализа средней линии тела, который показал высокую диагностическую ценность, продемонстрировав корреляцию с данными стабиллоплатформы и врачебной оценкой, что подтверждает его эффективность для объективной оценки постурального контроля в клинической практике.

Перспективы дальнейших исследований включают улучшение точности методик оценки отклонений и алгоритмов вычисления ключевых точек, расширение функциональности приложения, разработку мобильной версии, интеграцию с медицинскими информационными системами и адаптацию методики для различных групп пациентов, включая неврологических и ортопедических больных.

Разработанное решение было успешно презентовано в рамках программы «Стартап как диплом», где получило высокую оценку экспертного жюри. Проект был отмечен за инновационный подход к диагностике, практическую ориентированность и готовность к внедрению. Полученные положительные отзывы подтверждают перспективность дальнейшего развития проекта как технологического стартапа в области цифровой медицины.