KINETICA: ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Умная система контроля качества упражнений и восстановления после травм.

Версия: Прототип системы

Майка А. Н.

|  |
| --- |
| Оглавление |
| 1. [Резюме проекта 3](#_Toc197211198) 2. [Описание проекта 4](#_Toc197211199)   [Введение. 4](#_Toc197211200)  [Проблемы. 4](#_Toc197211201)  [Цели 4](#_Toc197211202)   1. [Описание решения 5](#_Toc197211203)   [Сбор данных с тела 5](#_Toc197211204)  [Централизованное управление 5](#_Toc197211205)  [Передача команд и телеметрии 5](#_Toc197211206)  [Серверная обработка 5](#_Toc197211207)  [Обработка и анализ 5](#_Toc197211208)  [Собранные данные хранятся в структурированном виде и могут использоваться для: 5](#_Toc197211209)  [Масштабируемая архитектура. 5](#_Toc197211210)   1. [Технологии и аппаратная часть 6](#_Toc197211211)   [Аппаратные компоненты датчика 6](#_Toc197211212)  [Технологии связи 6](#_Toc197211213)  [Программная часть 7](#_Toc197211214)   1. [Преимущества системы 8](#_Toc197211215)   [Беспроводность и мобильность 8](#_Toc197211216)  [Точность и надёжность данных 8](#_Toc197211217)  [Централизованное управление и гибкая настройка 8](#_Toc197211218)  [Автономная архитектура и независимость от интернета 8](#_Toc197211219)  [Гибкость интеграции и открытость протоколов 8](#_Toc197211220)  [Потенциал для аналитики и персонализированных рекомендаций 8](#_Toc197211221)   1. [Применение 9](#_Toc197211222)   [Спорт и тренировки 9](#_Toc197211223)  [Реабилитация и физиотерапия 9](#_Toc197211224)  [Образование и спортивная подготовка 9](#_Toc197211225)  [Исследования и тестирование. 9](#_Toc197211226)   1. [Возможный кейс внедрения. 10](#_Toc197211227)   [Кейс: Повышение качества тренировок и контроля техники в спортивном зале. 10](#_Toc197211228)  [Кейс: Оптимизация реабилитации после травм и операций 10](#_Toc197211229)   1. [Заключение и перспективы. 1](#_Toc197211230) |

|  |
| --- |
| Резюме проекта |

**Название проекта:** Kinetica — Умная система контроля качества упражнений и восстановления после травм

**Цель проекта:** Создание мобильной и масштабируемой системы для точного мониторинга и анализа движений человека с использованием инерциальных датчиков. Основная задача — заменить громоздкие и дорогостоящие системы захвата движений (motion capture) на удобное, автономное и легко внедряемое решение, применимое в спорте, реабилитации, образовании и научных исследованиях.

**Краткое описание решения:** Система состоит из набора компактных IMU-модулей (на базе BNO080), размещаемых на теле, и центрального хаба на ESP32-S3. Датчики отслеживают ускорение, угловую скорость и ориентацию, передавая данные по ESP-NOW на хаб, который агрегирует информацию и отправляет её на сервер по TCP. Управление и настройка системы осуществляются через BLE. Серверная часть (на Go) принимает данные, управляет сессиями и подготавливает информацию для анализа. Система работает без камер, проводов и доступа к интернету.

**Проблемы, которые решает проект:**

* Зависимость существующих систем от стационарной установки и визуального контроля.
* Ограниченность мобильности и высокая стоимость оборудования.
* Отсутствие объективной и постоянной обратной связи при тренировках и реабилитации.
* Недоступность высокоточных решений вне лабораторных условий
* Малое кол-во российских разработок

**Ключевые преимущества:**

* **Полная беспроводность** и независимость от внешней инфраструктуры.
* **Точность и надёжность данных** благодаря инерциальным сенсорам и централизованной обработке.
* **Автономная архитектура** — работает без доступа к интернету и внешним серверам.
* **Гибкость масштабирования** — добавление новых датчиков и сценариев не требует переработки всей системы.

**Целевая аудитория и сферы применения:** Система Kinetica ориентирована на спортивные организации и индивидуальных тренеров, которым важно объективно отслеживать технику и прогресс спортсменов; реабилитационные центры и физиотерапевтов, нуждающихся в надёжном инструменте для контроля выполнения упражнений и оценки динамики восстановления; образовательные учреждения и исследовательские лаборатории, использующие данные о движении для обучения и проведения прикладных исследований; а также проекты в области нейроинтерфейсов и цифровой медицины, где требуется точный и масштабируемый сбор информации о моторике человека.

**Ожидаемые результаты:**

Внедрение системы позволит значительно повысить точность и эффективность анализа движений, ускорить восстановление пациентов за счёт объективного и непрерывного контроля упражнений, улучшить качество тренировочного процесса и снизить риск травматизма. Кроме того, архитектура решения обеспечивает возможность адаптации под конкретные сценарии без значительных затрат, что делает систему гибкой и доступной для различных областей применения

|  |
| --- |
| Описание проекта |

## Введение.

Современные методы контроля движений и состояния опорно-двигательного аппарата часто требуют сложных и дорогостоящих решений. Особенно в сфере спорта, медицины и реабилитации важно обеспечивать точный анализ движений, удобство ношения оборудования и возможность масштабирования.

Классические системы motion capture с камерами или проводными датчиками громоздки, дорогостоящи и требуют специально подготовленной среды. Kinetica предлагает альтернативу — легковесную, беспроводную и масштабируемую платформу, которая состоит из компактных IMU-модулей, закрепляемых на теле, и центрального управляющего хаба, соединённого с локальным сервером.

Система ориентирована на практическое применение в спорте, реабилитации, медицине, а также в образовании и научных исследованиях.

## Проблемы.

* **Сложность и ограниченность существующих систем**

Камеры и проводные датчики требуют стационарной установки, высокой точности настройки и затратного обслуживания.

* **Отсутствие мобильности**

Большинство решений не подходят для использования вне лабораторных условий.

* **Низкая масштабируемость**

При увеличении числа участников резко возрастают затраты и требования к инфраструктуре.

* **Сложность интеграции с реальным процессом тренировки или реабилитации**

Устройства ограничивают свободу движений, вызывают дискомфорт и искажают поведение.

* **Недостаток оперативной обратной связи и анализа данных**

Многие системы не поддерживают реального времени или не позволяют адаптировать тренировку «на лету».

## Цели

* **Создать мобильную и беспроводную систему захвата движений**

Обеспечить свободное использование системы в любых условиях — от спортивного зала до клиники и выездных сессий, без необходимости в громоздком оборудовании и стационарной инфраструктуре.

* **Обеспечить точную и надёжную оценку движений**

Гарантировать высокую достоверность отслеживания движений для последующего анализа техники, диагностики нарушений и оценки динамики восстановления.

* **Обеспечить простоту настройки и взаимодействия с системой**

Сделать процесс запуска, управления и работы с системой максимально доступным для специалистов и пользователей без технического опыта.

* **Реализовать надёжную и стабильную передачу данных**

Обеспечить бесперебойную передачу данных для оперативного контроля и моментального реагирования на изменения в процессе движения.

* **Обеспечить анализ данных и формирование рекомендаций**

Сформировать основу для интерпретации собранной информации — от текущей оценки техники до рекомендаций по её улучшению

|  |
| --- |
| Описание решения |

Для решения задачи анализа качества движений и поддержки реабилитации разрабатывается интегрированная система Kinetica, сочетающая точные инерциальные сенсоры, беспроводную передачу данных и серверную обработку информации. Проект ориентирован на применение в спорте, медицине, обучении и восстановительной терапии.

## Сбор данных с тела

Система состоит из 13 компактных модулей, размещаемых на теле пользователя. Каждый модуль содержит IMU-сенсор BNO080/ BNO085, отслеживающий ускорение, угловую скорость и ориентацию в пространстве. Сенсоры крепятся на ключевые участки тела (голова, грудь, спина, конечности), обеспечивая полное покрытие для анализа движений.

## Централизованное управление

Перед началом сессии пользователь через BLE передаёт хабу параметры подключения к серверу (IP и порт). Хаб подключается к локальной точке доступа (Wi-Fi) и устанавливает TCP-соединение с сервером (на ноутбуке).

Сервер управляет сессией, передаёт команды хабу, принимает от него агрегированные данные от всех сенсоров. Передача между хабом и датчиками осуществляется по ESP-NOW — легковесной, энергоэффективной технологии беспроводной связи.

## Передача команд и телеметрии

Хаб управляет остальными сенсорами по беспроводной технологии **ESP-NOW**, передавая им команды и принимая телеметрию. Такая архитектура позволяет обеспечить точную синхронизацию, низкие задержки и устойчивость к помехам, без необходимости в интернет-соединении.

## Серверная обработка

На ноутбуке или локальном сервере запускается приложение (написанное на Go), которое принимает потоковые данные от хаба, регистрирует события и позволяет сохранять или анализировать движение пользователя в реальном времени. Сервер может визуализировать движения, оценивать технику и формировать рекомендации на основе полученных данных.

## Обработка и анализ

## Собранные данные хранятся в структурированном виде и могут использоваться для:

* оценки прогресса пользователя;
* сравнения техники до и после тренировки;
* выявления дисфункций или асимметрий;
* составления индивидуальных рекомендаций для тренировок или восстановления.

Система открыта к адаптации под различные сценарии: от контроля физической активности до образовательных или исследовательских целей.

## Масштабируемая архитектура.

Все компоненты Kinetica построены на модульной архитектуре, что позволяет легко масштабировать систему под любое количество пользователей, сенсоров или сценариев. Использование открытых протоколов связи (BLE, TCP, ESP-NOW), а также переносимая программная часть делают её гибкой для различных типов внедрения — от одиночного спортсмена до команды или реабилитационного центра.

|  |
| --- |
| Технологии и аппаратная часть |

Разработка прототипа **Kinetica** основана на использовании проверенных аппаратных компонентов и современных беспроводных технологий, обеспечивающих надёжную связь, гибкость архитектуры и возможность дальнейшего масштабирования.

## Аппаратные компоненты датчика

* **BNO080/BNO085** — 9-осевой инерциальный сенсор (акселерометр, гироскоп, магнитометр) со встроенным Sensor Fusion. Выдаёт данные об ориентации, ускорении и угловой скорости в реальном времени, обеспечивая высокую точность отслеживания движений.
* **ESP32-C3 Super Mini** — компактный и энергоэффективный микроконтроллер с поддержкой Wi-Fi и BLE. Используется в каждом датчике для связи, обработки и передачи данных.
* **ESP32-S3 Zero Mini -** высокопроизводительный двухъядерный микроконтроллер с поддержкой Wi-Fi и BLE. Применяется в роли хаба системы: управляет датчиками, передаёт команды (start/stop), принимает телеметрию по ESP-NOW и отправляет агрегированные данные на сервер по TCP.
* **Источник питания** — каждый модуль питается от перезаряжаемого Li-Po аккумулятора. Планируется реализация оптимального баланса между временем автономной работы и габаритами устройства.
* **Система включения/отключения** — для удобства эксплуатации модули будут оснащены кнопкой включения/выключения и световой индикацией состояния.
* **Корпус** — все компоненты размещаются в компактном, лёгком и защищённом корпусе, устойчивом к механическим воздействиям и влаге.
* **Крепление на тело** — каждый модуль фиксируется на теле с помощью эластичного ремешка или липучки, обеспечивая надёжное и удобное крепление без ограничения подвижности.

## Технологии связи

* **BLE (Bluetooth Low Energy)** — энергоэффективный протокол беспроводной связи малой дальности. Используется для первичной настройки: передача параметров подключения к серверу (IP, порт) на хаб.
* **ESP-NOW** — проприетарный протокол от Espressif для прямой передачи данных между ESP32-устройствами без участия роутера. Обеспечивает лёгкую, стабильную и энергоэффективную связь между датчиками и хабом.
* **Wi-Fi (STA-режим)** — режим, в котором устройство подключается к существующей точке доступа Wi-Fi как клиент (Station) без доступа в Интернет. Позволяет организовать обмен данными с сервером без использования интернета или внешнего маршрутизатора. Такой подход делает систему автономной и удобной для использования в зале, на выезде или в клинике.
* **TCP - н**адёжный транспортный протокол, гарантирующий доставку данных в правильной последовательности. Обеспечивает стабильную и упорядоченную передачу информации между хабом и сервером. По TCP хаб получает команды (например, старт/стоп), а также передаёт агрегированные данные от всех датчиков.

## Программная часть

**Встроенное ПО (датчики и хаб):**

* **Язык:** C
* **Фреймворк:** **ESP-IDF** — официальный SDK для программирования микроконтроллеров ESP32 от Espressif
* **Назначение:**
  + **Управление сенсорами BNO080/ BNO085**
  + **Передача и приём данных по ESP-NOW**
  + **Настройка соединения через BLE**
  + **Обработка команд и отправка данных по TCP**

Встроенное ПО отвечает за точный сбор данных с инерциальных сенсоров, их упаковку и надёжную доставку до центрального сервера.

**Серверное приложение:**

* **Язык: Go**
* **Назначение:**
  + **Принятие TCP-соединения от хаба**
  + **Получение и логгирование агрегированных данных с датчиков**
  + **Передача управляющих команд хабу (например, start, stop, upload)**
  + **Обработка и отправка BLE-сообщений для инициализации подключения**
  + **Подготовка данных к дальнейшей обработке и визуализации**

Go выбран благодаря своей высокой производительности, удобной работе с параллелизмом (через goroutines), стабильной поддержке сетевых протоколов (TCP, BLE через внешние библиотеки), а также читаемому и поддерживаемому коду для серверной логики.

|  |
| --- |
| Преимущества системы |

Внедрение системы **Kinetica** открывает новые возможности для эффективного контроля качества движений, оценки физического состояния и поддержки реабилитационных процессов. Ниже представлены ключевые преимущества решения.

## Беспроводность и мобильность

Система не требует проводных подключений и громоздкого оборудования. Все сенсоры работают автономно, передавая данные по беспроводной сети, что позволяет использовать систему в спортивных залах, клиниках, на выездных мероприятиях и даже в домашних условиях.

## Точность и надёжность данных

Использование высокоточных инерциальных сенсоров (BNO080) в сочетании с алгоритмами сенсорного слияния обеспечивает достоверную оценку движений. Это позволяет выявлять отклонения, асимметрии и нарушения техники с высокой детализацией.

## Централизованное управление и гибкая настройка

Вся система управляется через хаб, получающий команды от сервера. Передача параметров подключения осуществляется по BLE, что делает настройку быстрой и доступной. Управление сенсорами и сбор данных автоматизирован и централизован, что сокращает время подготовки и снижает вероятность ошибок.

## Автономная архитектура и независимость от интернета

Система не зависит от внешних серверов или облаков — все соединения происходят в рамках локальной сети. Хаб подключается к точке доступа ноутбука, что позволяет использовать систему даже в условиях отсутствия интернета или мобильной связи.

## Гибкость интеграции и открытость протоколов

Серверная часть написана на языке Go и может быть легко интегрирована в существующие IT-системы. Использование открытых стандартов (TCP, BLE, ESP-NOW) обеспечивает совместимость и лёгкую адаптацию под различные технические требования.

## Потенциал для аналитики и персонализированных рекомендаций

Собранные данные могут использоваться для последующего анализа, построения траекторий восстановления, выявления прогресса и формирования индивидуальных рекомендаций. Это создаёт основу для интеллектуальной поддержки пользователей, тренеров или врачей.

|  |
| --- |
| Применение |

Система **Kinetica** в первую очередь предназначена для **контроля техники выполнения движений**, поддержки **восстановительных процессов** и повышения **качества индивидуальных тренировок**. Благодаря модульной архитектуре и мобильности, она также может быть адаптирована под образовательные, исследовательские и прикладные задачи в смежных отрасли.

## Спорт и тренировки

1. **Оценка техники выполнения упражнений.** Система помогает спортсменам и тренерам отслеживать движения, выявлять ошибки, асимметрии, отклонения от оптимальной траектории, что важно для достижения высоких результатов и профилактики травм.
2. **Персонализированное планирование тренировок.** Анализ накопленных данных позволяет корректировать нагрузки, отслеживать прогресс и строить индивидуальные планы на основе объективной информации о движениях и динамике.

## Реабилитация и физиотерапия

1. **Контроль за выполнением восстановительных упражнений.** Система фиксирует, насколько точно пациент следует предписанной программе. Это позволяет специалисту отслеживать технику, соблюдение амплитуд и повторений.
2. **Оценка прогресса восстановления.** Kinetica даёт возможность количественно оценивать, как со временем меняется подвижность и качество движений — без постоянного присутствия врача и без громоздкого оборудования.

## Образование и спортивная подготовка

1. **Обучение правильной технике.** В вузах, колледжах и спортивных школах система может использоваться для обучения движениям — от общей физической подготовки до элементов сложной координации.
2. **Объективная оценка навыков учащихся.** Инструктор или преподаватель получает доступ к объективной информации о движении учащегося, что помогает строить обратную связь и индивидуальные корректировки.

## Исследования и тестирование.

1. **Анализ биомеханики движений.** Kinetica подходит для проведения прикладных исследований в области двигательной активности, например, для сравнения техник между группами испытуемых.
2. **Быстрое прототипирование упражнений и методик.** Гибкость системы позволяет исследователям быстро собирать данные, тестировать гипотезы и сравнивать эффективность разных подходов в тренировке и реабилитации.

|  |
| --- |
| Возможный кейс внедрения. |

Современные учреждения, работающие в сфере спорта, медицины и образования, стремятся внедрять технологии, способные **повысить качество двигательной активности**, **ускорить восстановление** и **снизить риски травм**.  
Система **Kinetica** решает задачу персонального мониторинга движений и может применяться как в учебном процессе, так и в клинической практике и индивидуальных тренировках.

## Кейс: Повышение качества тренировок и контроля техники в спортивном зале.

**Задача**

Переход от визуального и субъективного контроля за выполнением упражнений к **объективной, цифровой системе оценки движений**, позволяющей спортсмену и тренеру совместно отслеживать прогресс и предотвращать ошибки и травмы.

**AS IS (текущее состояние)**

В большинстве залов контроль техники осуществляется визуально, в режиме реального времени. Тренер наблюдает за движениями и даёт устную обратную связь, опираясь на собственный опыт. Ошибки могут быть замечены не сразу или интерпретированы субъективно. У спортсмена нет доступа к объективным данным о движении, не сохраняется история тренировок, и невозможно отследить качественные изменения техники. Всё основано на восприятии и памяти — и тренера, и самого спортсмена.

**TO BE (будущее состояние)**

Система Kinetica позволяет зафиксировать каждую тренировку объективно. Спортсмен надевает датчики, которые фиксируют параметры движений: амплитуду, траектории, углы, симметрию. Все данные поступают на ноутбук тренера и визуализируются. Ошибки становятся очевидны сразу, что позволяет оперативно корректировать технику. Сессии сохраняются, что даёт возможность сравнивать разные дни и отслеживать прогресс. Тренер работает не "на глаз", а с точной цифровой моделью движения, а спортсмен получает ясную обратную связь и становится активным участником анализа собственных действий

**Выгода**

Повышается эффективность тренировочного процесса, снижается риск травм, появляется возможность персонализировать нагрузку. Объективные данные усиливают доверие между тренером и спортсменом, а также повышают вовлечённость и мотивацию за счёт видимого прогресса.

## Кейс: Оптимизация реабилитации после травм и операций

**Задача**

Организовать непрерывный, объективный контроль за выполнением реабилитационных упражнений вне клиники. Повысить точность выполнения заданий, снизить риски регресса, упростить контроль со стороны врача и сократить количество очных визитов.

**AS IS (текущее состояние)**

Пациенты часто выполняют упражнения дома самостоятельно. Врач может оценить результат только при личной встрече, ориентируясь на субъективные рассказы и краткие наблюдения. Если пациент допускает ошибки в технике, это остаётся незамеченным. Прогресс не фиксируется объективно, история восстановления не хранится. Врач не может оперативно скорректировать план, а пациент не уверен, правильно ли он выполняет движения.

**TO BE (будущее состояние)**

С внедрением Kinetica пациент использует лёгкие датчики, которые фиксируют выполнение упражнений. Данные поступают на ноутбук врача или в локальную систему. Врач видит: как именно пациент двигался, в чём есть отклонения, какие параметры улучшились. Упражнения можно анализировать удалённо, сравнивать по дням, выявлять ошибки и оперативно вносить изменения в программу. Пациент получает обратную связь, ощущает поддержку, становится увереннее в процессе восстановления.

**Выгода**

Процесс реабилитации становится более эффективным и предсказуемым. Снижается необходимость в частых визитах, ускоряется восстановление, уменьшается нагрузка на персонал. Пациент получает качественную помощь, а врач — полноценный инструмент для управления восстановление

|  |
| --- |
| Заключение и перспективы. |

Создание прототипа системы Kinetica подтвердило её работоспособность, точность и применимость в условиях, где необходим мониторинг движений без громоздкого оборудования. Система показала, что может быть мобильной, автономной и удобной для пользователей, предоставляя объективные данные в режиме реального времени.

На следующем этапе развития проекта планируется:

* **Добавление новых сенсоров** — расширение аппаратной части за счёт интеграции дополнительных датчиков (например, ЭМГ, давления, пульса) для получения более полной картины состояния пользователя.
* **Углубление аналитики** — улучшение обработки и интерпретации данных с существующих IMU-сенсоров, выявление асимметрий, отклонений от нормы и динамики восстановления.
* **Разработка веб-интерфейса** — создание пользовательского интерфейса для визуализации движений, управления сессиями и взаимодействия с системой через браузер.
* **Интеграция с VR** — внедрение модуля виртуальной реальности, в котором пользователь сможет тренироваться или выполнять реабилитационные упражнения в иммерсивной среде с обратной связью, основанной на данных с датчиков.

Система остаётся полностью беспроводной, не требует камер или специализированной среды, что делает её удобной для использования в зале, клинике, на выезде и даже дома. В дальнейшем планируется масштабирование решения, адаптация под конкретные сферы и подготовка к пилотным внедрениям. Kinetica формирует основу для интеллектуального и доступного контроля движений, открывая возможности для повышения качества тренировок, ускорения восстановления и улучшения образования.