Kinetica: Техническая реализация

Техническая реализация системы сбора и передачи данных.

Версия: Прототип системы

Майка А. Н.

|  |
| --- |
| Оглавление |
| 1. [Аппаратная часть системы 3](#_Toc197217584)   [Структура системы 3](#_Toc197217585)  [Система делится на три ключевых компонента: 3](#_Toc197217586)  [Основные связи между подсистемами 3](#_Toc197217587)  [Примечание 3](#_Toc197217588)   1. [Количество устройств и базовая установка 4](#_Toc197217589)   [Необходимое оборудование (для одного пользователя): 4](#_Toc197217590)  [Размещение датчиков: 4](#_Toc197217591)  [Дополнительно 4](#_Toc197217592)   1. [Состав и требования к каждому компоненту 5](#_Toc197217593)   [IMU-модули (датчики движения): 5](#_Toc197217594)  [Хаб (центральный управляющий модуль): 5](#_Toc197217595)  [Сервер (управляющее и логирующее ПО): 6](#_Toc197217596)   1. [Алгоритм работы сбора данных 7](#_Toc197217597)   [Инициализация и настройка 7](#_Toc197217598)  [Запуск сессии 7](#_Toc197217599)  [Завершение сессии 7](#_Toc197217600)  [Обработка данных на сервере 7](#_Toc197217601) |

|  |
| --- |
| Аппаратная часть системы |

Этот раздел описывает физическую структуру системы Kinetica — из каких компонентов она состоит, как они взаимодействуют, какие данные обрабатываются и в каком объёме планируется использование оборудования на старте.

## Структура системы

## Система делится на три ключевых компонента:

1. **IMU-модули (датчики движения):**
   1. Построены на базе ESP32-C3 и инерциального сенсора BNO080/BNO085.
   2. Закрепляются на теле пользователя на ключевых участках.
   3. Отвечают за сбор данных об ускорении, угловой скорости и ориентации.
2. **Центральный хаб:**
   1. Аппаратно реализован на ESP32-S3, принимает и отправляет данные.
   2. Управляет датчиками, агрегирует данные, передаёт их на сервер.
   3. Получает управляющие команды от сервера и пересылает их сенсорам.
3. **Серверная часть:**
   1. Представляет собой приложение на Go, запускаемая локально.
   2. Настраивает соединение с хабом, управляет сессиями, и контролирует обмен данными.
   3. Принимает поток телеметрии, сохраняет, логирует и подготавливает данные для анализа и визуализации.

## Основные связи между подсистемами

Следующая таблица описывает основные каналы связи между компонентами системы Kinetica, используемые протоколы, направление обмена и назначение взаимодействия.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Компоненты** | **Протокол** | **Направление** | **Назначение** |
| Сервер ↔ Хаб | BLE | Сервер → Хаб | Передача параметров подключения: SSID, пароль, IP и порт сервера |
| Хаб ↔ Сервер | TCP | Двусторонняя | Получение команд и передача агрегированных функций |
| Хаб ↔ Датчики | ESP-NOW | Двусторонняя | Передача команд и прием телеметрии от IMU-модулей |

## Примечание

* **BLE** используется только на этапе конфигурации хаба и отключается после установления соединения.
* **ESP-NOW** обеспечивает лёгкую и энергоэффективную связь между ESP32-устройствами, не требует Wi-Fi-сети или маршрутизатора.
* **TCP-соединение** между хабом и сервером устанавливается после получения параметров и обеспечивает надёжную доставку данных.

|  |
| --- |
| Количество устройств и базовая установка |

Этот раздел описывает минимальную конфигурацию системы, необходимую для запуска прототипа. Указано количество компонентов, их назначение, а также способы размещения датчиков на теле пользователя и базовые требования к эксплуатации

## Необходимое оборудование (для одного пользователя):

Для запуска базовой версии системы Kinetica на одного пользователя требуется следующий комплект оборудования. Эти компоненты обеспечивают сбор данных, координацию работы всех узлов и передачу информации на сервер для анализа.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Компонент** | **Кол-во** | **Назначение** |
| IMU-модуль | 11-14 шт. | Отслеживание частей в различных частях тела |
| Хаб | 1 шт. | Координация сбора и передачи данных на сервер |
| Сервер (ноутбук) | 1 шт. | Прием данных, отправка управляющих команд, настройка Хаба |

## Размещение датчиков:

Ниже представлена схема базового размещения IMU-модулей на теле пользователя. Такое позиционирование обеспечивает полное покрытие для анализа движений и позволяет точно отслеживать пространственное положение ключевых частей тела.

|  |  |
| --- | --- |
| **Область тела** | **Назначение** |
| Голова | Отслеживание поворота, наклона |
| Груди/Спина | Центральное положение корпуса |
| Верхние конечности | Плечо, предплечье – анализ траектория и амплитуды рук |
| Нижние конечности | Бедра, голени, стопы – оценка походки, опоры и техники |

## Дополнительно

* **Крепление датчиков**: осуществляется с помощью эластичных ремешков или липучек, не ограничивает подвижность.
* **Питание**: каждый модуль оснащён Li-Po аккумулятором, зарядка через USB Type-C.
* **Автономность**: каждый датчик представляет собой самодостаточный узел, не требующий внешних соединений.
* **Универсальность**: количество датчиков может варьироваться в зависимости от конкретного сценария (например, анализ походки требует 6–8 датчиков, полный анализ тела — 14).

|  |
| --- |
| Состав и требования к каждому компоненту |

В этом разделе описано, из каких аппаратных и программных элементов состоит каждая подсистема системы Kinetica, а также предъявляемые требования к питанию, надёжности и взаимодействию между компонентами.

## IMU-модули (датчики движения):

IMU-модули представляют собой автономные устройства, закрепляемые на различных участках тела пользователя. Они являются основным источником данных о движении и отвечают за непрерывный сбор информации об ориентации, ускорении и угловой скорости. Каждый модуль работает независимо, получает команды от хаба и передаёт телеметрию по беспроводному каналу ESP-NOW. Надёжность, компактность и энергоэффективность позволяют использовать их в мобильных условиях — без необходимости подключения к проводной инфраструктуре.

* **Аппаратное:**
  + **ESP32-C3 SuperMini** – микроконтроллер с поддержкой Wi-Fi, BLE и ESP-NOW
  + **IMU-сенсор BNO080/BNO085** – 9-осевой инерциальный сенсор с Sensor Fusion
  + **Li-po аккумулятор 3.7 V 400-600 mAh** – питание модуля
  + **Светодиод** - индикация состояния (включение/выключение)
  + **Кнопка включения/выключения**
  + **Разъем USB Type-**C – зарядка и отладка
  + **Минимальное экранирование/заземление** – защита от шумов и стабильность работы
* **Программное**:
  + Язык программирование **C (Си)**
  + Библиотека **ESP-IDF**
* **Функции**
  + Инициализация и управление BNO080/BNO085 по I²C;
  + Сбор данных: акселерометр, гироскоп, ориентация (quaternion/Euler);
  + Передача данных хабу по ESP-NOW;
  + Приём управляющих команд (start, stop).

## Хаб (центральный управляющий модуль):

Хаб выполняет роль посредника между датчиками и сервером. Он координирует сбор данных, рассылает управляющие команды и обеспечивает надёжную агрегацию и передачу телеметрии. Хаб получает параметры подключения (Wi-Fi, IP, порт) от сервера по BLE, подключается к локальной сети и устанавливает TCP-соединение с сервером. По ESP-NOW он взаимодействует с IMU-модулями, запуская и останавливая сессии и получая от них данные в реальном времени. Благодаря компактной и энергоэффективной архитектуре на базе ESP32-S3, хаб остаётся автономным и может использоваться в мобильных условиях без необходимости подключения к внешней инфраструктуре.

* **Аппаратное:**
  + **ESP32-S3 Zero Mini** – **двухъядерный микроконтроллер** с поддержкой Wi-Fi, BLE и ESP-NOW
  + **Li-po аккумулятор 3.7 V 400-600 mAh** – питание модуля
  + **Светодиод** - индикация состояния (включение/выключение)
  + **Кнопка включения/выключения**
  + **Разъем USB Type-**C – зарядка и отладка
  + **Заземление и защита от помех** – для устойчивости работы в среде с несколькими ESP
* **Программное**:
  + Язык программирование **C (Си)**
  + Библиотека **ESP-IDF**
* **Функции:**
  + приём параметров подключения по BLE от сервера;
  + подключение к Wi-Fi в режиме STA, установка TCP-соединения;
  + приём телеметрии от сенсоров по ESP-NOW;
  + агрегация данных и отправка их по TCP на сервер;
  + приём и рассылка управляющих команд.

## Сервер (управляющее и логирующее ПО):

Сервер представляет собой программный компонент, выполняющий ключевые функции управления системой Kinetica. Он инициализирует соединение с хабом через BLE, управляет сессиями (запуск, остановка, выгрузка), принимает и обрабатывает поток данных от хаба по TCP. Сервер реализуется в виде консольного приложения на языке Go, развёртываемого на ноутбуке или другом переносном компьютере с поддержкой BLE и Wi-Fi. Полученные данные логгируются, подготавливаются к анализу и могут быть в дальнейшем визуализированы или переданы в веб-интерфейс. Система не требует подключения к интернету и может функционировать полностью автономно в замкнутой локальной сети.

* **Аппаратное**
  + **Любой ноутбук или SC** (Raspberry Pi) с поддержкой:
    - **BLE** (встроенный или через адаптер)
    - **Wi-Fi** (локальная точка доступа или подключение к сети)
  + **Консольный ввод/вывод** – для командной работы
  + **Портативность** – для использования в мобильных условиях (например, в зале)
* Программное:
  + Язык программирования Go
* Функции
  + **BLE-клиент** — передаёт параметры Wi-Fi/IP хабу;
  + **TCP-сервер** — принимает поток телеметрии, отправляет команды (start, stop, upload);
  + Логгирование в файл или БД;
  + Консольный интерфейс для запуска сессий, просмотра статуса, отладки;
  + (опционально) подготовка данных к визуализации или API для Web-интерфейса.

|  |
| --- |
| Алгоритм работы сбора данных |

Алгоритм отражает последовательность взаимодействий между компонентами системы: сервером, хабом и IMU-модулями. Приведена базовая логика работы прототипа, включающая этапы и обмен данными.

## Инициализация и настройка

Хаб принимает параметры подключения от сервера по BLE и устанавливает TCP-соединение с ним через Wi-Fi.

1. **Хаб запускается и активирует BLE-сервер (GATT), ожидая подключения**
2. **Сервер запускается и инициирует BLE-клиентское соединение с хабом**
3. **Сервер передает параметры подключения:**
   1. **SSID и пароль Wi-Fi**
   2. **IP-адрес и порт TCP-сервера**
4. **Хаб принимает параметры через BLE и отправляет сообщение об успехе**
5. **Отключает BLE**
6. **Подключается к указанной Wi-Fi-сети в режиме STA**
7. **Устанавливает TCP-соединение с сервером и подготавливает ESP-NOW-канал связи с датчиками**

## Запуск сессии

Сервер запускает сессию, хаб передаёт команду датчикам по ESP-NOW, и начинается сбор данных.

1. **Сервер отправляет хабу команду `start` по TCP**
2. **Рассылает всем IMU-модулям команду start по ESP-NOW**
3. **IMU-модули инициализируют сенсор BNO080/ BNO085**
4. **Начинают сбор данных (ускорение, угловая скорость, ориентация)**
5. **Агрегирует пакеты в структуру с временными метками и ID**
6. **Хаб переходит в режим ожидания команды от сервера**

## Завершение сессии

Сервер отправляет команду завершения, датчики передают накопленные данные хабу, который пересылает их на сервер.

1. **Сервер отправляет хабу команду `end` по TCP**
2. **Передает всем IMU-модулям по команду `end` по ESP-NOW**
3. **Датчики прекращают сбор данных и начинают передачу накопленных данных хабу**
4. **После завершения приема данных от всех модулей, датчики очищают память и переходят в режим ожидания**
5. **Хаб отправляет весь собранный набор данных серверу по TCP в виде бинарного потока**

## Обработка данных на сервере

Сервер принимает, проверяет и сохраняет данные в БД, переходя в режим ожидания новых команд

1. **Сервер принимает и валидирует поток телеметрии**
2. **Хаб переходит в режим ожидания следующих команд по TCP**
3. **Сервер логгирует статус сессии и сохраняет данные в базу данных**