

Kinetica: Техническая реализация

Техническая реализация системы сбора и передачи данных.

Версия: Прототип системы

Майка А. Н.

Оглавление

I.	Аппаратная часть системы.....	3
	Структура системы.....	3
	Система делится на три ключевых компонента:	3
	Основные связи между подсистемами	3
	Примечание.....	3
II.	Количество устройств и базовая установка	4
	Необходимое оборудование (для одного пользователя):	4
	Размещение датчиков:	4
	Дополнительно	4
III.	Состав и требования к каждому компоненту.....	5
	IMU-модули (датчики движения):	5
	Хаб (центральный управляющий модуль):.....	5
	Сервер (управляющее и логирующее ПО):.....	6
IV.	Алгоритм работы сбора данных	7
	Инициализация и настройка	7
	Запуск сессии	7
	Завершение сессии.....	7
	Обработка данных на сервере	7

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):**
 - а) Построены на базе ESP32-C3 и инерциального сенсора BNO080/BNO085.
 - б) Закрепляются на теле пользователя на ключевых участках.
 - в) Отвечают за сбор данных об ускорении, угловой скорости и ориентации.
- 2) **Центральный хаб:**
 - а) Аппаратно реализован на ESP32-S3, принимает и отправляет данные.
 - б) Управляет датчиками, агрегирует данные, передаёт их на сервер.
 - в) Получает управляющие команды от сервера и пересылает их сенсорам.
- 3) **Серверная часть:**
 - а) Представляет собой приложение на Go, запускаемая локально.
 - б) Настраивает соединение с хабом, управляет сессиями, и контролирует обмен данными.
 - в) 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-ро 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 программирования **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-ро 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 программирования **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 логируются, 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);
 - Логирование 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 иницирует BLE-клиентское соединение с хабом
- 3) Сервер передает параметры подключения:
 - a) SSID и пароль Wi-Fi
 - b) 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 логирует статус сессии и сохраняет данные в базу данных
- 4)