

В качестве глобального сервера может выступать одноплатный компьютер Orange Pi 4 с процессором RK3399 (6 ядер, до 2 ГГц), 4 ГБ RAM и хранилищем eMMC 32 ГБ, используемый для хранения данных (до 1 млн записей) и обработки запросов через HTTP/REST [6].

Orange Pi 4 используется как сервер для хранения данных от нескольких десятков блоков управления. Одноплатный компьютер имеет интерфейсы GPIO и USB, что позволяет реализовать без каких-либо сложностей дополнительные внешние устройства, включая невстроенный в компьютер модуль GSM. Для дистанционного сопряжения с внешними устройствами имеется поддержка Bluetooth и Wi-Fi. Для сопряжения с персональными компьютерами можно использовать порт Ethernet. Есть слот для подключения накопителей памяти формата MicroSD. А для подключения внешних переносимых накопителей памяти формата SSD можно использовать USB-порт. Одноплатный компьютер поддерживает различные операционные системы, включая Linux, что делает его полноценным устройством для реализации сервера. В качестве системы управления базы данных может выступать MySQL.

Мобильное приложение для ОС Android является дистанционным пультом управления. Основные функции приложения обеспечивают сбор и визуализацию данных о состоянии автомобиля, а также управление некоторыми параметрами в реальном времени. Приложение написано на Qt/QML и обеспечивает визуализацию карты и отображение основных параметров. С помощью модуля Qt Positioning реализовано определение текущего местоположения транспортной единицы и ее отображение на карте с использованием компонента Map и слоя OpenStreetMap.

Программные компоненты взаимодействуют по сети, используя MQTT протокол, обеспечивая двухстороннюю связь: от устройства – для мониторинга, к устройству – для управления. Для управления в интерфейсе приложения имеются кнопки.

Литература

1. ESP32-H2-MINI-1 Datasheet. – URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-h2-mini-1_mini-1u_datasheet_en.pdf (дата обращения: 01.03.2025).
2. Модуль GPS NEO-6M USB/UART-TTL/SMA с активной антенной. – URL: <https://compactool.ru/modul-gps-neo-6m-usbuart-ttlsma-s-aktivnoj-antennoj> (дата обращения: 08.03.2025).
3. Документация INA219. – URL: <https://dinistor.ru/files/INA219.pdf> (дата обращения: 08.03.2025).
4. SIM800L Hardware Design V1.00. – URL: https://seeeddoc.github.io/LoNet-GSM-GPRS_Breakout/res/SIM800L_Hardware_Design_V1.00.pdf (дата обращения: 08.03.2025).
5. Orange Pi 4. – URL: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicro-controllers/details/Orange-Pi-4.html> (дата обращения: 08.03.2025).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОМ СПИНОВОЙ ФИЗИКИ ДЛЯ КОЛЛАЙДЕРА NICA

А. Е. Запольский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: Е. С. Кокоулина, Ю. В. Крышнев,
Л. А. Захаренко, А. В. Сахарук

Рассмотрены технические возможности реализации системы управления детектором спиновой физики для сверхпроводящего коллайдера протонов и тяжелых ионов, кото-

рый строится на базе Объединенного института ядерных исследований. Показаны особенности реализации каждого уровня многоуровневой системы.

Ключевые слова: система управления детектором, система SPD, детектор NICA, FPGA, ПЛИС, аппаратно-программный комплекс, SCADA, Объединенный институт ядерных исследований.

Система управления детектором спиновой физики (SPD) обеспечивает управление и мониторинг, анализ полученных данных, управление системой безопасности. Для эффективной реализации управления система разделена на три уровня – нижний, средний, высокий.

Основными элементами нижнего уровня являются измерительные каналы и сенсоры, устройства ввода и вывода, источники питания высокого и низкого напряжения.

Средний уровень является основным «мозгом» системы, который состоит из устройств управления и сбора данных. Данный уровень является «мостом», который передает информацию, собранную датчиками нижнего уровня, на центральный сервер верхнего уровня. Второй функцией данного уровня является управление исполнительными устройствами – программируемые логические контроллеры и подсистемы.

Человеко-машинный интерфейс (HMI), отвечающий на взаимосвязь между системой управления и оператором, является объектом высокого уровня. Кроме этого данный уровень включает базу данных для хранения параметров и конфигураций системы, алгоритмы макроуправления. Программное обеспечение высокого уровня состоит из SCADA-системы и программного обеспечения для поддержки событийно-ориентированного управления и распределенных систем. Конечной задачей высокого уровня является организация диспетчерского пульта для организации работы оператора [1–3].

Система управления измеряет три основных параметра – напряжение, ток и температура.

Измерение тока может быть реализовано с использованием измерительного шунта. Схема измерения включает в себя дифференциальный усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Опорное напряжение АЦП задается цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП). Имеющиеся блок быстрого преобразования Фурье (ББП) выполняет расчет спектральных составляющих тока. Для обработки большого количества точек измерения используются многоканальные АЦП и ЦАП.

Для АЦП необходимо устройство со следующими параметрами: 8 каналов, разрешение – 24 бит, низкий уровень шума и высокая точность. Такими параметрами обладает микросхема AD7700 [4].

Для ЦАП необходимо устройство со следующими параметрами: 8 каналов, разрешение – 12 бит, встроенный источник опорного напряжения, наличие SPI, высокая точность. Такими параметрами обладает микросхема MAX5725 [5].

В качестве измерительного преобразователя температуры можно использовать бесконтактный инфракрасный термометр, который имеет малошумящий усилитель, 17-битный АЦП, имеющий высокую точность и разрешающую способность. Такими параметрами обладает датчик MLX90614, который имеет заводскую калибровку, цифровой выход ШИМ и специализированную шину управления системой SMBus. В стандартном режиме происходит непрерывное измерение температуры в диапазоне –20–120 °C с выходным разрешением 0,14 °C [6].

В качестве управляющего устройства, которое считывает данные с измерительных преобразователей, и передает их по сетевому протоколу CANopen по запросу от модулей среднего уровня, может быть использована программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС, по англ. FPGA), например, Altera Cyclone V.

Данное устройство позволяет запускать операционную систему на базе ядра Linux, реализовывать графический интерфейс для локального управления и отображения информации [7].

Работа с датчиками осуществляется через АЦП, формирование аналоговых управляющих сигналов осуществляется с помощью ЦАП, а дискретные управляющие сигналы могут формироваться за счет цифровых портов вывода. Ядра FPGA могут применяться для цифровой обработки измеряемых сигналов в реальном времени и передачи ее в операционную систему.

На основе операционной системы имеется возможность реализации модулей для структурирования информации и осуществления коммуникации с сервером системы.

Процессорные ядра FPGA основаны на архитектуре ARM Cortex-A9 Dual Core – двухъядерный процессор с поддержкой многопоточности.

В рамках предлагаемого проектного решения предполагается использование отладочной платы Terasic модели DE1-SoC-MTL2 на базе устройства FPGA Cyclone V. Основные параметры: 85000 логических элементов, наличие аппаратной процессорной системы (HPS) в виде интегрированной системы на кристалле (SoC) и программируемой логической интегральной схемы (FPGA); наличие мультимедийных систем (сенсорный жидкокристаллический дисплей с поддержкой технологии Multi-Touch, ТВ-декодер, поддержка видеocodeка 24-bit Codec); наличие портов расширения (2 порта 40-Pin GPIO, порт 10-pin ADC Input Header, 1 порт LTC); наличие пользовательских портов ввода/вывода (10+1 светодиодов (HPS), 4+1 кнопок без фиксации (HPS), 10 переключателей, 6 семисегментных индикаторов); наличие 24-bit ЦАП VGA, 8-канального АЦП и акселерометра. Для отладки и программирования можно применить программатор и отладчик USB Blaster II, который связывает отладочную плату и персональный компьютер через интерфейс USB. Для работы с устройством применяется программное обеспечение для компьютера – интегрированная среда разработки Quartus Prime. Для тестирования, отладки, мониторинга и программирования имеется поддержка интерфейса JTAG (Joint Test Action Group), что значительно упрощает разработку и тестирование электронных систем [7, 8].

Наличие сенсорного дисплея позволяет организовать удобный интерфейс для разработки и сборки системы без использования дополнительных устройств вывода.

Для реализации информационной системы высокого уровня предлагается использовать SCADA-систему WinCC OA, которая позволит организовать управление, мониторинг и визуализацию всех процессов. Система имеет открытую архитектуру и сетевую конфигурацию, обладает высокими масштабируемостью и отказоустойчивостью. Важным ее преимуществом является независимость от операционных систем. Поддержка пользовательских скриптов и расширений, возможность интеграции сторонних компонентов через API или собственные модули, позволяет значительно расширить возможности данного программного продукта [7].

Сетевая конфигурация позволяет организовать децентрализованное управление и работу с распределенными объектами, реализовать легкое масштабирование через добавление серверов или клиентов.

Механизмы дублирования серверов, резервного копирования и аварийного восстановления значительно повышают общую отказоустойчивость системы управления.

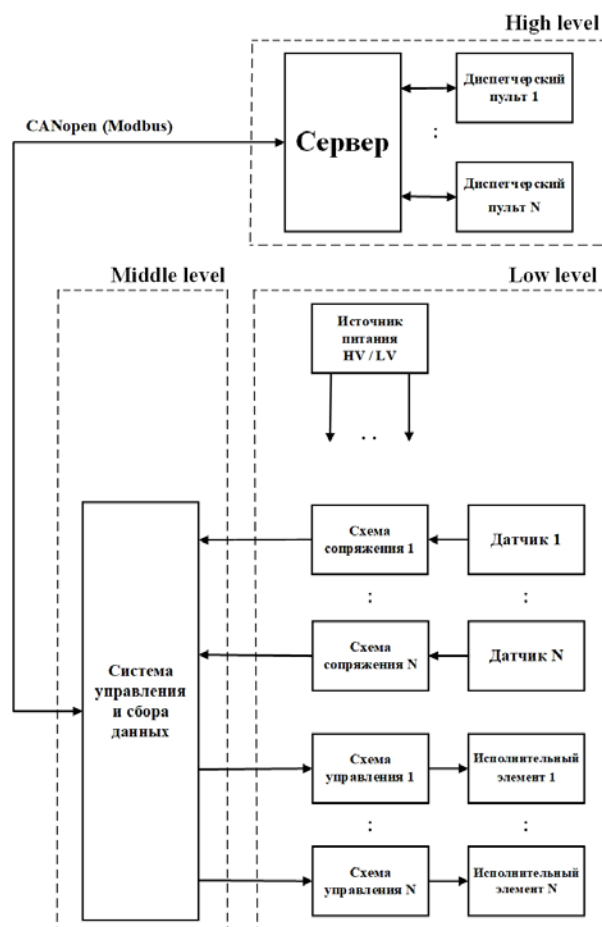


Рис. 1. Структурная схема системы управления детектором

Предлагаемая структурная схема системы управления детектором показана на рис. 1.

Литература

1. Technical Design Report of the Spin Physics Detector (For the SPD collaboration) / JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH. – February 6, 2024. – Version 2.00. – 349 p.
2. Conceptual design of the Spin Physics Detector / V. M. Abazov [et al.]. – 1 2021, 2102.00442.
3. Electromagnetic calorimeter for the SPD experiment. Physics of Particles and Nuclei / O. P. Gavrischuk, A. I. Maltsev, V. V. Tereshenko [et al.]. – 52:975, 2021.
4. AD7700 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=AD7700AN> (дата обращения: 07.11.2024).
5. MAX5725 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/452460/MAXIM/MAX5725.html> (дата обращения: 08.11.2024).
6. MLX90614 Datasheet. – URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/224153/MELEXIS/MLX90614.html> (дата обращения: 08.11.2024).
7. Terasic DE1-SoC-MTL2 Development and Education Kit. – URL: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=167&No=930> (дата обращения: 15.11.2024).
8. WinCC OA Documentation Terasic DE1-SoC-MTL2. – URL: https://www.winccoa.com/documentation/WinCCOA/latest/en_US/index.html (дата обращения: 25.11.2024).