Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Группа 23.Б11-мм

Улучшение поддержки отечественного МК К1921ВГ015 с архитектурой RISC-V в операционной системе Embox

Нафиков Руслан Вильевич

Отчёт по учебной практике
в форме «Решение»

Научный руководитель:
доцент кафедры системного программирования, Луцив Д. В.

Консультант:
ООО «EMBOX», Генеральный директор, Бондарев А. В.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Введение **3**

1. Постановка задачи **4**

2. Обзор **5**

2.1. Обзор существующих решений 5

2.2. Выводы 9

3. Описание решения **10**

3.1. Изучение операционной системы Embox и средств отладки 10

Заключение **11**

Список литературы **12**

Введение

В современном мире информационных технологий операционные системы играют ключевую роль в обеспечении взаимодействия аппаратного и программного обеспечения. Одной из таких систем, которая приобретает всё большую популярность, является **Embox**.

Embox [1] — это легковесная модульная операционная система, разработанная для встраиваемых систем реального времени. Она предоставляет базовые функции операционной системы, такие как управление памятью, планирование задач и поддержка многозадачности, оставаясь компактной и эффективной для устройств с ограниченными ресурсами. Одним из её преимуществ является возможность использования программного обеспечения Linux. Разработка Embox ведётся на математико-механическом факультете СПбГУ.

Микроконтроллеры — это интегральные схемы, содержащие в себе процессор, память и периферийные устройства. Они широко используются в автомобильной промышленности, бытовой электронике, медицинском оборудовании и промышленных системах управления. Благодаря низкому энергопотреблению и высокой надёжности микроконтроллеры идеально подходят для приложений, требующих автономной работы и высокой производительности в условиях ограниченных ресурсов.

Архитектура **RISC-V** [7] представляет собой открытый стандарт на основе принципов Reduced Instruction Set Computing (RISC). Она предоставляет разработчикам гибкость и возможность настройки, что делает её востребованной как в академических, так и в промышленных проектах. Активное развитие архитектуры RISC-V поддерживается благодаря открытому исходному коду и сообществу разработчиков.

На отечественном рынке также ведётся активная разработка микроконтроллеров на базе RISC-V. Примером такого устройства является `К1921ВГ015`, разработанный АО «НИИЭТ».

1. Постановка задачи

Цель работы заключается в улучшении поддержки отечественных микроконтроллеров с архитектурой RISC-V в операционной системе Embox.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучить операционную систему Embox, её структуру и возможности для встраиваемых систем реального времени;
2. Рассмотреть микроконтроллер STM32 и отечественное RISC-V решение `К1921ВГ015` от АО «НИИЭТ»;
3. Разработать недостающие драйверы для периферийных устройств, включая GPIO, SPI и I2C;
4. Провести апробацию полученного решения.

2. Обзор

В этом разделе представлен анализ существующих решений и технологий, связанных с поддержкой микроконтроллеров на архитектуре RISC-V в операционных системах.

2.1. Обзор существующих решений

Микроконтроллеры на архитектуре RISC-V активно развиваются как в научной, так и в промышленной среде. Их главной особенностью является открытость, которая позволяет адаптировать архитектуру под конкретные задачи. Среди отечественных решений выделяется `К1921ВГ015` (АО «НИИЭТ»), 32-разрядный микроконтроллер с ядром RISC-V. Он предназначен для применения в системах дистанционного мониторинга, контрольно-измерительных приборах, автоматизации производственных процессов, автомобильной электронике и устройствах с батарейным питанием.

К1921ВГ015 [4] обладает следующими ключевыми характеристиками:

- Поддержка системы команд RV32IMFCN и расширений ZBA, ZBB, ZBC, ZBS, обеспечивающих высокую производительность;
- Встроенный блок управления энергопотреблением и поддержка режимов низкого энергопотребления;
- Flash-память объёмом 1 Мбайт и два блока SRAM: основной (256 Кбайт) и батарейный (64 Кбайт);
- Широкий набор периферийных интерфейсов, включая UART, SPI, I2C, USB 2.0 и CAN 2.0b;
- Встроенные модули криптографии (CRYPTO), хэширования (HASH) и генератор случайных чисел (TRNG);
- Контроллеры прерываний, таймеры и высокоточные АЦП для работы в реальном времени.

Эти особенности делают микроконтроллер К1921ВГ015 эффективным решением для встраиваемых систем, где важны надёжность и энергоэффективность.

2.1.1. Встраиваемые системы

Встраиваемая система — специализированная вычислительная система, интегрированная в устройство для выполнения конкретных задач. Она характеризуется ограниченными ресурсами, компактностью, работой в реальном времени и высокой надёжностью. Примеры включают микроконтроллеры в бытовой технике, автомобильные блоки управления и устройства IoT.

IoT (Internet of Things) — это множество физических объектов, подключённых к интернету и обменивающихся данными.

2.1.2. Архитектура RISC-V

Архитектура RISC-V основана на принципах Reduced Instruction Set Computing (RISC) и предлагает разработчикам гибкость и возможность настройки. Благодаря открытому исходному коду архитектура активно используется как в образовательных, так и в промышленных целях.

2.1.3. Операционная система для встраиваемых систем Embox

Embox — это легковесная модульная операционная система, разработанная для встраиваемых систем и систем реального времени. Она предоставляет базовые функции управления памятью, планирования задач и поддержки многозадачности, оставаясь компактной и эффективной. Одним из её преимуществ является возможность использования программного обеспечения Linux. Разработка Embox ведётся на математико-механическом факультете СПбГУ.

2.1.4. Ключевые периферийные компоненты МК RISC-V

Эффективная работа микроконтроллера `К1921ВГ015`, обеспечивается за счёт следующих ключевых периферийных компонентов:

Контроллер прерываний (Interrupt Controller) — представляет собой аппаратный модуль, отвечающий за обработку событий, поступающих от периферийных устройств и внутренних сигналов процессора. Основные функции включают:

- Приём и распределение прерываний по приоритетам;
- Маршрутизацию прерываний к соответствующим ядрам процессора;
- Минимизацию задержек при обработке событий за счёт аппаратной оптимизации.

Контроллер прерываний обеспечивает эффективную многозадачность в системах реального времени.

Таймеры (Timers) — это аппаратные модули, генерирующие периодические сигналы для синхронизации и управления процессами в микроконтроллере. Они выполняют следующие задачи:

- Обеспечение системных тиков для работы операционной системы;
- Управление временными задержками;
- Генерация сигналов через заданные интервалы времени.

Таймеры критически важны для реализации систем реального времени.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) [3][8] — это последовательный интерфейс для обмена данными между микроконтроллером и внешними устройствами. Он поддерживает асинхронную передачу данных и используется в следующих сценариях:

- Подключение к периферийным устройствам, таким как GPS и Bluetooth-модули;
- Передача данных через стандартные COM-порты;
- Диагностика и отладка встраиваемых систем.

UART характеризуется простой реализацией и универсальностью.

GPIO (General-Purpose Input/Output) — предоставляет программируемые линии ввода-вывода, которые могут быть настроены для работы в режиме входа или выхода. Основные применения включают:

- Управление внешними устройствами (светодиоды, реле, кнопки);
- Сбор данных с цифровых датчиков;
- Генерация импульсных сигналов.

GPIO отличается гибкостью конфигурации и поддержкой множества периферийных приложений.

SPI (Serial Peripheral Interface) [2] — это синхронный последовательный интерфейс, используемый для высокоскоростной передачи данных между микроконтроллером и периферийными устройствами. Основные особенности:

- Поддержка нескольких ведомых устройств через одну шину;
- Высокая скорость обмена благодаря полнодуплексному режиму передачи;
- Использование в устройствах, таких как дисплеи, флэш-память и датчики.

SPI является оптимальным выбором для приложений, требующих высокой производительности.

I2C (Inter-Integrated Circuit) [6] — это двухпроводной последовательный интерфейс для подключения множества устройств на одной шине. Основные характеристики:

- Поддержка до 127 ведомых устройств с использованием только двух линий (SDA и SCL);
- Простая адресация и управление периферийными устройствами;

- Применение для связи с датчиками, микросхемами памяти и другими низкоскоростными устройствами.

I2C широко используется в системах с ограниченными ресурсами благодаря простоте реализации и минимальному количеству линий соединения.

2.2. Выводы

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Архитектура RISC-V активно развивается, предоставляя значительные возможности для создания специализированных решений;

2. `К1921ВГ015` — перспективный отечественный микроконтроллер с широкими возможностями для применения во встраиваемых системах;

3. Для полной интеграции микроконтроллера в операционную систему Embox, необходима реализация драйверов и оптимизация ключевых модулей.

3. Описание решения

Цель работы заключается в улучшении поддержки отечественных микроконтроллеров с архитектурой RISC-V в операционной системе Embox.

3.1. Изучение операционной системы Embox и средств отладки

В рамках выполнения задачи изучена структура операционной системы Embox, ориентированной на встраиваемые системы реального времени. Рассмотрены ключевые подсистемы, включая планировщики, драйверы устройств и подсистемы ввода-вывода.

Для первого знакомства с проектом выполнена задача из категории “good first issue” [5]. В ходе работы исследован процесс сборки проекта: от конфигурации системы до компиляции и генерации исполняемых файлов. Изучена организация кода и модульная архитектура Embox.

В ходе практической деятельности освоена сборка операционной системы Embox для различных архитектур, таких как `RISC-V`, `ARM`, `AArch64`, `MIPS` и `x86_64`. Для эмуляции целевых платформ применялся QEMU, что позволило протестировать и отладить систему в виртуальной среде.

Также проведено изучение инструментов загрузки и отладки, включая GDB и OpenOCD, которые используются для взаимодействия с микроконтроллером `К1921ВГ015` и отладки программного обеспечения.

Заключение

В ходе выполнения учебной практики были достигнуты следующие результаты:

- Изучена операционная система Embox и освоена процедура сборки `RISC-V`, `ARM`, `AArch64`, `MIPS` и `x86_64` на QEMU: проведено исследование её структуры, ключевых подсистем (планировщики, драйверы устройств, подсистемы ввода-вывода) и методов расширения функциональности через модули;

- Проанализирована текущая поддержка отечественных микроконтроллеров в Embox: выявлены области для улучшения, включая отсутствие драйверов периферийных устройств и недостаточную оптимизацию системных компонентов;

- Рассмотрены особенности микроконтроллера `К1921ВГ015`: изучены его архитектура, ключевые характеристики и специфика применения в встраиваемых системах;

- Разработаны планы по реализации и тестированию драйверов для периферийных устройств (GPIO, SPI, I2C) и добавлению поддержки таймера и контроллера прерываний.

На данном этапе развёртывание операционной системы Embox на микроконтроллере `К1921ВГ015` не было произведено. Однако сформулированы чёткие направления дальнейшей работы, включая разработку и интеграцию драйверов для ключевых периферийных устройств, а также проведение более глубокого тестирования и оптимизации системных компонентов.

Полученные результаты создают основу для последующего улучшения поддержки отечественных микроконтроллеров с архитектурой RISC-V в Embox.

Список литературы

[1] Embox GitHub Repository. — URL: https://github.com/embox.

[2] SPI: Протокол, впервые реализованный компанией Motorola. Справочные документы производителя или открытые описания, такие как "SPI Block Guide". — URL: https://www.rotr.info/electronics/interface/spi/spi.htm.

[3] Документ Texas Instruments с практическими рекомендациями по использованию UART, I2C и SPI. — URL: https://ru.rfstariot.com/blog/generic-serial-communication-protocols-uart-spi-i2c_b64.

[4] К1921ВГ015 Мануал. — URL: https://niiet.ru/wp-content/uploads/2024/10/Быстрый_старт_К1921ВГ015_240716.pdf.

[5] Ссылка на good first issue. — URL: https://github.com/embox/embox/commit/b7cd19fb7b15c0c95464f1510e2a6fe8680f8c7f.

[6] Стандарт, разработанный компанией Philips (теперь NXP). Документ "UM10204: I2C-bus specification and user manual". — URL: https://www.rhydolabz.com/documents/30/UM10204.pdf?srsltid=AfmBOoqJW2KYamSzpa2ItlWqqInkZI7NBA6mA9UeODdDqILFlCNaooiP.

[7] Статья для ознакомления с RISC-V. — URL: https://habr.com/ru/companies/servermall/articles/849382/.

[8] Хорошая статья про UART. — URL: https://voltiq.ru/wiki/uart-interface/.