Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Улучшение поддержки операционной системы Embox на отечественном микроконтроллере MIK32 АМУР (K1948BK018)

Матвей Евгеньевич Наздрюхин, группа 23.Б15-мм

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

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

Санкт-Петербург
2025

Актуальность работы

- **Технологический суверенитет**
  - Развитие отечественной микроэлектроники;
  - снижение зависимости от зарубежных решений.
- **Востребованность микроконтроллеров**
  - Широкое применение в промышленности;
  - перспективы IoT-устройств.

Сравнение микроконтроллерных платформ

STM32 (ARM Cortex-M)

- зрелая экосистема и документация;
- обширный набор готовых библиотек;
- закрытая архитектура процессора;
- лицензионные ограничения ARM;
- доминирование на мировом рынке;
- валютные риски поставок.

MIK32/К1921ВГ015 (RISC-V)

- открытая архитектура RISC-V;
- полное отсутствие лицензионных отчислений;
- отечественная разработка и производство;
- развивающаяся экосистема;
- ограниченный выбор периферийных библиотек;
- поддержка технологического суверенитета.

Сравнение операционных систем для встраиваемых устройств

Embox

- легковесная и настраиваемая ОС;
- подходит для систем с ограниченными ресурсами;
- позволяет использовать ПО linux;
- разработка ведётся в том числе и на факультете СПбГУ "МатМех".

Zephyr

- широкая функциональность и модульность;
- активная поддержка сообществом.

Постановка задачи

Цель работы

Улучшение поддержки операционной системы реального времени Embox на микроконтроллере MIK32 АМУР (K1948BK018).

Задачи исследования

1. изучить ОС Embox, её архитектуру и возможности для встраиваемых систем;
2. исследовать специфику микроконтроллера MIK32 АМУР;
3. реализовать поддержку интерфейсов I^2C и SPI в рамках ОС Embox;
4. провести тестирование и апробацию разработанного решения.

Изучение ОС Embox

- первое знакомство: написание тестов для функции `log()` из математической библиотеки (#3443);
- сборка и запуск в QEMU для ARM, RISC-V (32/64), AARCH64, MIPS;
- портирование Embox на платформу Syntacore SCR3 (#3535);
- доработка поддержки STM32 (#3544):
  - добавление конфигураций для чипов STM32F100xb/xe и STM32F10x;
  - обновление конфигов для плат `stm32f103_bluepill`, `stm32f103rc16`.

Запуск Embox на RISC-V32 в QEMU

Запуск образа системы для RISC-V32 в QEMU:

Пример запуска

```
qemu-system-riscv32 -M virt -bios ./build/base/bin/embox \
                    -m 512 -nographic

[info] (Kernel) Interrupt controller: riscv_plic
[info] (phymem) start=0x80835000 end=0xa0000000 size=528265216
[info] (test) running embox.arch.riscv.pmp.test_pmp
[info] (unit) initializing embox.fs.rootfs_oldfs

> tish
root@embox:/#
```

Техническая реализация для Syntacore SCR3

Конфигурация системы

- архитектура: `RV32IMC` (без FPU);
- память:
  - `ROM`: 2MB (0x00000000);
  - `RAM`: 128KB (0xF0000000).
- кросс-компиляция: `riscv64-unknown-elf-`.

Ключевые драйверы

Устройство	**Адрес/Настройки**
Таймер (mtimer)	0xF0040000, 60 MHz
UART (NS16550)	0xFF010000, IRQ 0
Прерывания (IPIC)	SCR3 v.3

Данные из пакета разработчика компании Syntacore

Результаты портирования на SCR3

Достижения

- Pull Request #3535 принят в `embox/master`;
- поддержка:
  - многозадачность (5 потоков);
  - Shell `tish` с базовыми командами;
  - работа с UART и таймером.
- готовый шаблон для SCR3_32/64.

Верификация

- Успешный запуск в QEMU:
  - `-M scr3 -kernel embox/build/base/bin/embox -nographic`

Прошивка Embox на MIK32 АМУР

Процесс прошивки и запуска

- успешная прошивка через openocd и mik32-uploader;
- подключение через UART (minicom) для проверки.

Пример выполнения

```
$ ./platform/mikron/scripts/uploader_run.sh openocd \
  /home/bikakuka/mik32-uploader
SPIFI writing successfully completed!

$ minicom -D /dev/ttyUSB0
embox> uname
Embox
```

- система успешно прошита и запущена, подтверждена работа командной строки;
- команда `uname` возвращает ожидаемое значение "Embox".

Специфика микроконтроллера MIK32 АМУР

При портировании операционной системы на MIK32 требуются специфичные изменения:

- аппаратно-зависимые настройки прерываний;
- корректировка векторов обработчиков;
- особенности размещения кода в памяти.

Пример решения для обработки прерываний

```
#if OPTION_GET(BOOLEAN, mik32_fixup)
.section .mik32_fixup, "ax"
.globl _mik32_fixup_interrupt
.org 0x40
_mik32_fixup_interrupt:
    j riscv_trap_handler
#endif
```

Источник: код А.В. Бондарева, адаптировано

Результаты

Основные достижения

- проведено комплексное изучение ОС Embox, включая:
  - написание тестов для математических функций (log);
  - сборку и тестирование системы для различных архитектур (ARM, RISC-V, MIPS);
  - создание прошивки для микроконтроллера Syntacore SCR3.
- выполнена доработка поддержки STM32:
  - добавлены конфигурации для чипов stm32f100xb/xe и stm32f10x;
  - обновлены конфигурации для плат stm32f103_bluepill и stm32f103rc16.
- успешная прошивка и запуск ОС на целевом устройстве.

Результаты

Верификация

- успешный запуск на QEMU для RISC-V32;
- подтверждение работы через последовательный интерфейс;
- тестирование базовой функциональности системы.

Цели на будущее

- реализовать драйвера для протоколов I^2C и SPI для Embox на MIK32;
- получить апробацию реализации драйверов на платформе.