

Программно-аппаратные платформы Интернета вещей и встраиваемые системы

Лекция 11

ПАМЯТЬ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Несколько общих слов

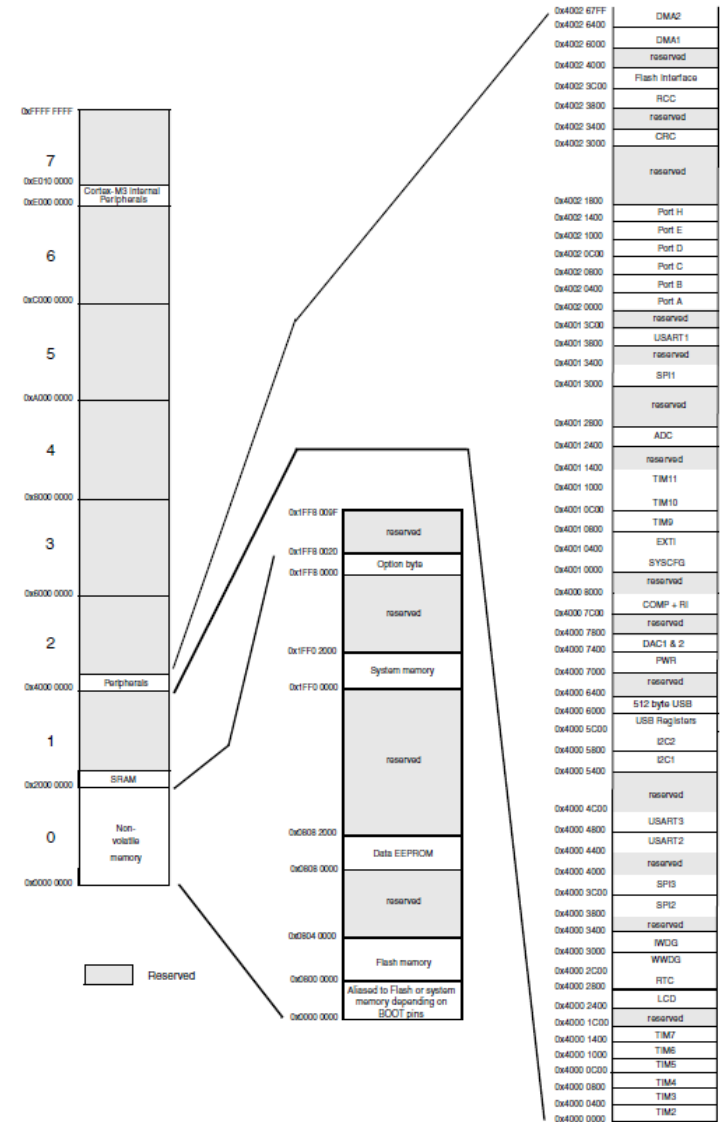
- Гарвардская архитектура
 - Раздельная память программ и данных
- Фон-неймановская архитектура
 - Общая память программ и данных
- Ввод-вывод с отображением на память (memory-mapped I/O)

Организация памяти в МК

- PIC10/12/16/18
 - Типичный пример гарвардской архитектуры
 - Раздельные ROM и RAM
 - Special Function Registers в адресном пространстве RAM
- 8051
 - IRAM – внутренняя RAM, 128 или 256 байт (8-битная адресация)
 - SFR в адресном пространстве IRAM
 - XRAM – до 64 кБайт (16-битная адресация)
 - PMEM – память программ, до 64 кБайт (можно и больше с переключаемыми страницами)

Что же у нас в Cortex-M?

- Общий размер адресного пространства у 32-битного ядра – 4 Гб
- Для управления встроенной периферией микроконтроллера используются специальные адреса в памяти
- Встроенная флеш-память и ОЗУ проецируются в это же адресное пространство
- С точки зрения программиста – типичнейший пример фон-неймановской архитектуры



Что же у нас в Cortex-M?

- «Внутри» ядра Cortex-M архитектура памяти уже гарвардская, с отдельными шинами I-Code (instruction) и D-Code (data)
- Это позволяет одновременно с загрузкой инструкции из ROM загружать данные из RAM
- Выполнение кода из RAM также возможно, но с замедлением примерно в 2 раза
- Периферия подключается с использованием отдельной шины AHB (Advanced High-performance Bus) или APB (Advanced Peripheral Bus), описанных в стандарте AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture)

Встроенная память микроконтроллера

- RAM
 - Static RAM – дорогая (6 транзисторов/бит), но не требует «регенерации» и отличается низким энергопотреблением
- ROM
 - Flash
 - EEPROM

Flash-память

- Чтение происходит «строками» по 32, 64 или 128 бит
 - Интерфейс памяти скрывает это от программиста
 - Между ядром процессора и flash обычно находится «ускоритель flash» – небольшой объем кеш-памяти
- Запись возможна только 1 -> 0
 - Стирание памяти (запись 1 во все биты) производится «страницами», типичный размер – от 256 байт до 64 кБайт
 - Ресурс выражается в циклах стирание-запись, обычно около 10 000 циклов
- Контроллер flash-памяти – отдельное периферийное устройство
- Типичный объем – десятки-сотни кБайт (256 Кб в STM32L151CC)

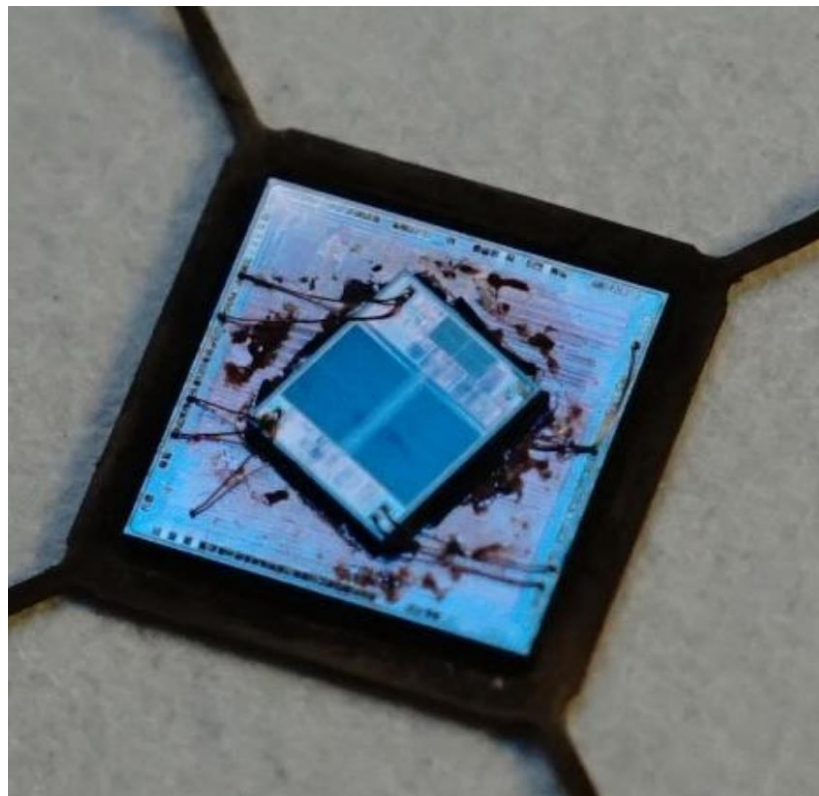
Экзотика

- TI CC3200
 - Встроенная флеш-память очень мала и программисту недоступна
 - Программа хранится во внешней микросхеме памяти с последовательным интерфейсом, при запуске МК считывается оттуда в оперативную память
- TI CC3220SF
 - 1 Мб встроенной флеш-памяти
 - Ускоритель не работает, память очень медленная, производительность в 1,5 раза ниже предыдущей модели

Экзотика-2

GigaDevice

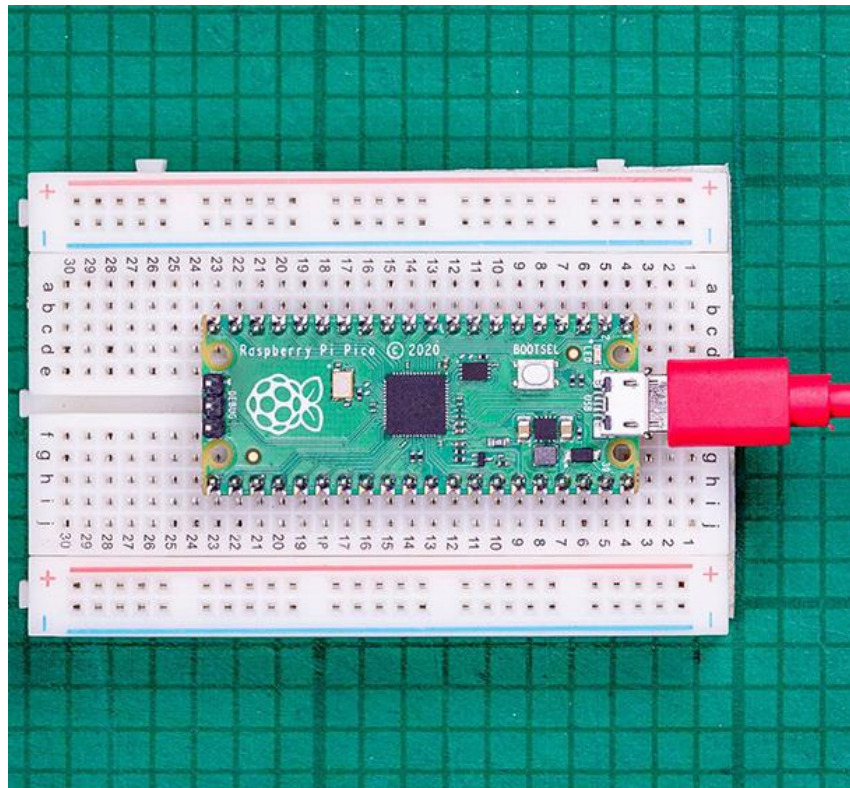
- Китайский производитель микросхем флеш-памяти и микроконтроллеров (клоны STM32 на ядре Cortex-M и собственные разработки на базе RISC-V)
- В одном корпусе собраны микроконтроллер с периферией и отдельный чип flash-памяти с последовательным интерфейсом



Экзотика-3

RP2040

- Попытка Raspberry Pi Foundation сделать микроконтроллер
- Отсутствует встроенная flash-память, программа загружается в SRAM из внешней микросхемы памяти с интерфейсом QSPI



EEPROM

- Возможно побайтовое чтение/запись
- Существенно больший ресурс, чем у Flash (100 000 – 1 000 000 циклов)
- Типичный объем – единицы кБайт (8 кБ у STM32L151)

Постоянная память и RIOT OS

- Драйверы Flash и EEPROM
- Имитация EEPROM в Flash-памяти (для некоторых семейств процессоров)
- В EEPROM/Flash можно сохранять настройки устройства, сессионные ключи, идентификаторы, ...

`drivers/include/periph/eeprom.h`

Файловые системы для Flash

- Когда flash-памяти много, можно организовать в неиспользуемой ее части полноценную файловую систему
- Основная проблема – ограниченное количество циклов перезаписи
- Решение – стирать данные только при «переполнении» ФС, поддерживать версии файлов

Bootloader

- Выполняющаяся на микроконтроллере программа для записи «прошивки» в собственный Flash
- Очень часто bootloader «зашит» в микроконтроллер уже при изготовлении, и выбор программы для запуска (bootloader/штатная прошивка) осуществляется переключением логических уровней на нескольких специально выделенных выводах
- Bootloader в STM32 умеет работать с UART и USB (по протоколу DFU)

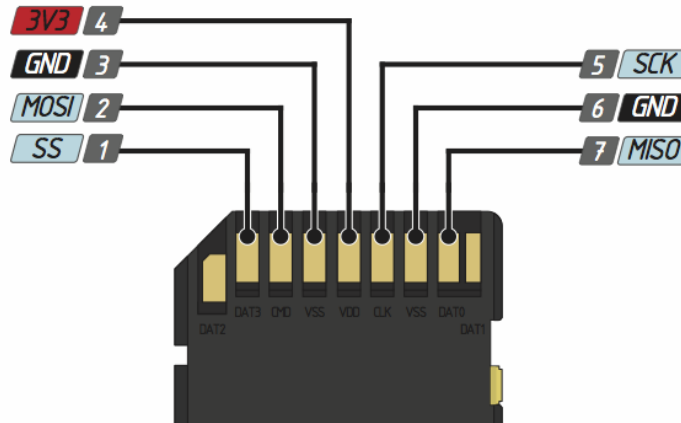
DMA – контроллер прямого доступа к памяти

- «Асинхронный метсру»
- Может копировать данные с одного адреса в памяти на другой без участия процессора
- Автоинкремент адресов источника и приемника (настраивается)
- Может управляться от периферии (UART, SPI, I2C, ADC, ...)
- Счетчик количества операций
- При достижении середины и конца буфера генерирует прерывание

ВНЕШНЯЯ ПАМЯТЬ

Что можно подключить к МК?

- «Флешки» с SPI или I2C
- SD-карты – 1-битный интерфейс, похожий на SPI
 - В RIOT есть модуль **sdcard_spi** и пакет **fatfs**



Параллельные интерфейсы

- FSMC – flexible static memory controller
 - Шина адреса до 26 бит
 - Шина данных до 16 бит
 - «Служебные» сигналы read strobe, write strobe, chip select
 - Внешняя память проецируется в адресное пространство микроконтроллера (адреса с 0x60000000 по 0x9FFFFFFF)
- Можно подключать не только память, но и все, имеющее схожий интерфейс (например, ЖК-дисплеи с параллельной шиной)