

Лекция 7: “Архитектура микроконтроллеров (на примере AVR и Cortex-M): ядро, память, прерывания”

Гончаров Олег Игоревич

Факультет вычислительной математики и кибернетики,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

2013

Контроллеры и микроконтроллеры

Выполняют функцию УПУ в цифровых системах управления.

Микроконтроллер — “система на кристалле”: ЦПУ, память, периферия.

Характеристики:

- производительность ($IPS \approx$ тактовая частота для),
- объем памяти: ОЗУ, энергонезависимая данных, энергонезависимая программ,
- разрядность: 8/16/32 бит,
- набор инструкций (RISC) и наличие функциональных элементов ЦПУ (операции умножения, деления и т.п.)

Примеры:

Atmel AVR: 8 бит, 8-24 МГц, до 4 кб ОЗУ, до 256 кб программ.

Cortex-M3: 32 бит, 72 МГц, до 40 кб ОЗУ, до 256 кб программ.

Cortex-M4: 32 бит, 180 МГц, до 192 кб ОЗУ, до 4 Мб программ.

Устройство микроконтроллеров

ЦПУ

ЦПУ осуществляет исполнения программы, хранящийся в памяти.

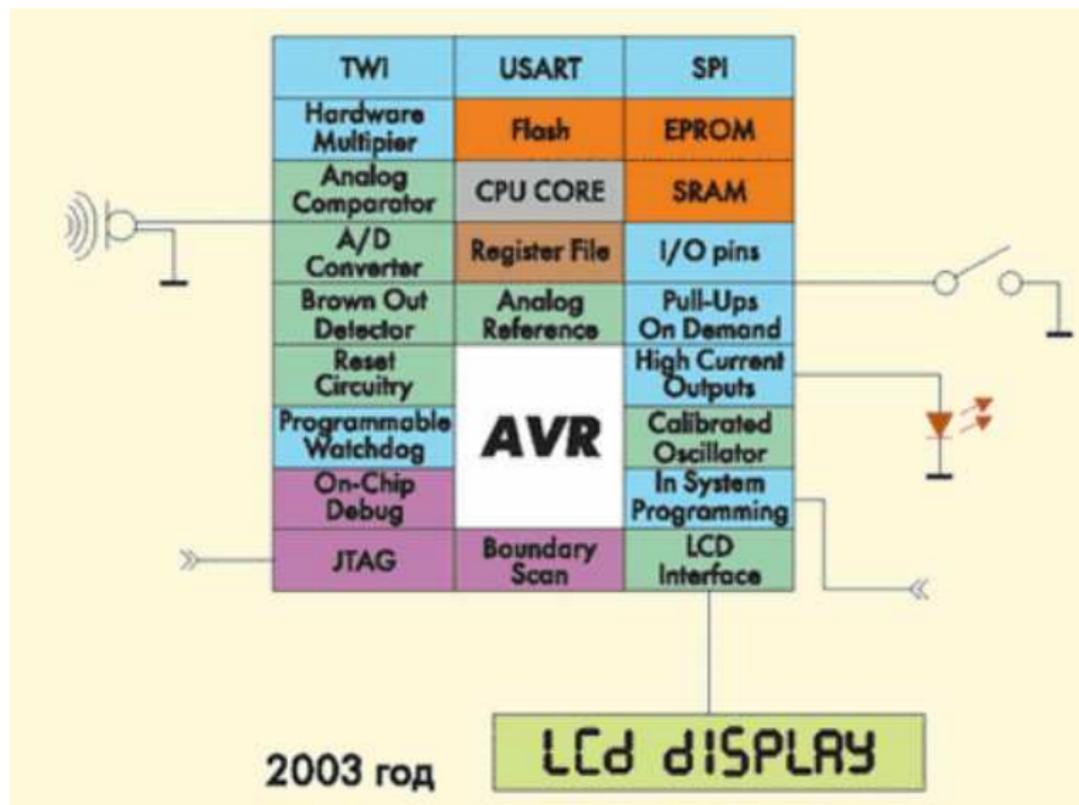
В состав ЦПУ входят:

- ядро (непосредственное исполнение команд),
- аппаратные средства поддержки отладки и загрузки программы (интерфейс JTAG),
- контроллер памяти, контроллер шин в/в, контроллер DMA,
- контроллер прерываний.

AVR: 8 бит, нет аппаратного деления. **Cortex-M:** 32 бит, набор инструкций thumb-2, поддержка ОС в виде возможности использования привилегированного и непривилегированного режимов работы, возможен арифметический сопроцессор.

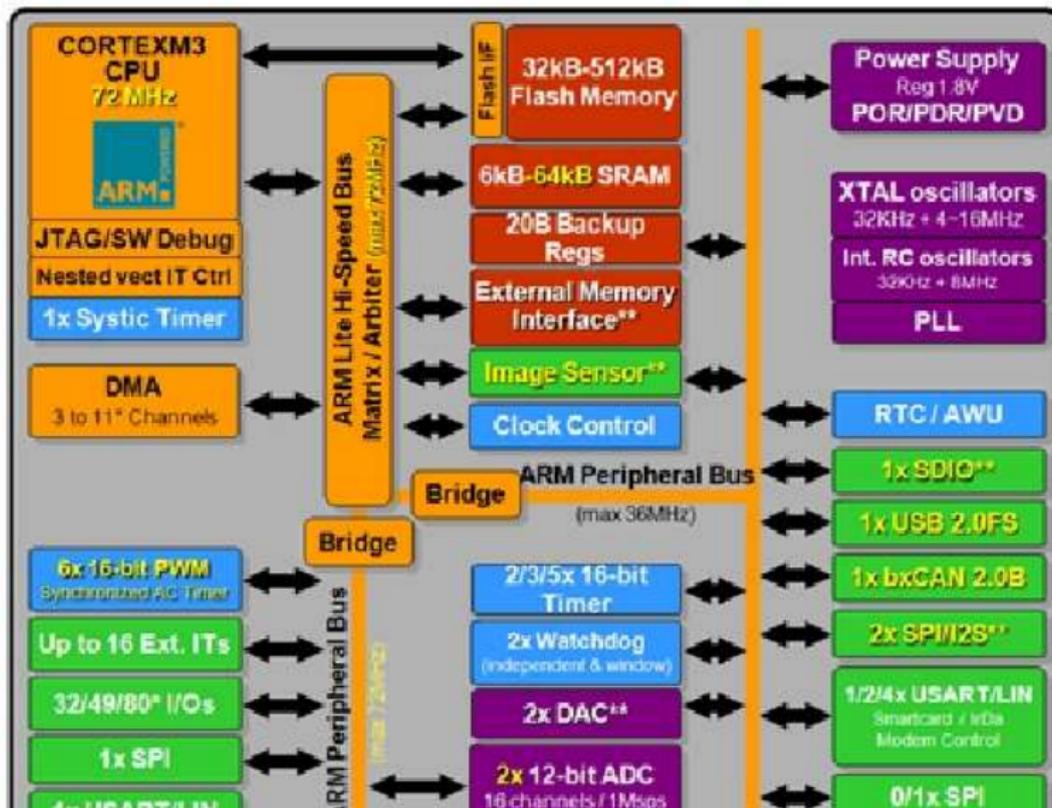
Устройство микроконтроллеров

AVR



Устройство микроконтроллеров

Cortex-M



Устройство микроконтроллеров

ЦПУ: поддержка отладки

Предоставляет

- доступ к памяти (в т.ч. и для загрузки программы),
- пошаговое выполнение программы,
- точки останова,
- взаимодействие с периферией и отладка систем РВ (ETM).

Возможности сильно варьируются в зависимости от МК и его стоимости.

AVR: 1-Wire (проприетарный), JTAG (старшие модели). **Cortex-M:** JTAG, CoreSight через JTAG или последовательный интерфейс.

Прерывания

Обеспечивают реакцию на внешние события.

- событие
- аппаратная обработка: установка флага события
- контроллер прерываний:
 - если**
 - ▶ прерывание разрешено,
 - ▶ прерывания глобально разрешены,
 - ▶ приоритет выше других активных/ожидających прерываний
 - **то**
 - 1 глобальное запрещение прерываний,
 - 2 сохранение контекста,
 - 3 переход на обработчик

AVR: глобальное разрешение/запрещение прерываний (`sei/cli`), фиксированные приоритеты: (0 RESET, 1 INT0, ...)

Прерывания

Cortex-M: Контроллер вложенных векторизированных прерываний (NVIC)

Разработан для применения в системах реального времени.

Вектор прерываний:

- 16 прерываний ядра, 3 с фиксированным высшим приоритетом. (RESET, исключения, SysTick, NMI, SVCcall, Debug)
- до 241 прерывания периферии, назначаемые приоритеты.

Гибкая система приоритетов:

- отсутствует глобальное маскирование прерываний,
- 16 уровней приоритетов, могут быть разделены на группы,
- обеспечение детерминированной задержки: обработка прерывания с высшим приоритетом начнется не позднее 6-12 циклов:
 - ▶ аппаратная реализация спасения регистром,
 - ▶ прерывания на этапе загрузки регистров,
 - ▶ минимизация числа операций спасения регистров.

Память и взаимодействие с периферией

Память:

- статическое ОЗУ — хранение данных, возможно расширение внешним ОЗУ,
- энергонезависимая память программ (flash) — запись при прошивке,
- энергонезависимая память данных (eeprom) — возможна запись из кода .

Память может быть объединена в единое адресное пространство (Cortex M).

Взаимодействие с периферией:

- запись/чтение в порты: out/in,
- порты отображаются в область ОЗУ.

Контроллер DMA (Direct Memory Access — прямого доступа к памяти) По событию копирует блок из одной области памяти в другую, указатели на начало блока могут смещаться или не смещаться.

- Режим сна ядра микроконтроллера:
подача тактовых импульсов прекращается, выход из режима по прерыванию.
- Отключение периферийных устройств.

Периферийные устройства

Общий алгоритм работы с периферией

Выбор режима работы и взаимодействия с периферией осуществляется посредством чтения/записи в соответствующие порты. Некоторые библиотеки используют структуры и вызовы.

Общий алгоритм:

- 1 Прочитать документацию (!): описание работы модуля, документацию библиотек.
- 2 Инициализация:
 - ▶ выбор режима работы,
 - ▶ настройка режима работы выводов МК,
 - ▶ настройка прерываний,
 - ▶ включение устройства.
- 3 Взаимодействие с устройством: чтение/запись данных в регистры или биты.