

32-разрядные микроконтроллеры корпорации ATMEL на ядре ARM9

Николай Королёв (Москва)

Последние несколько лет ATMEL уделяет большое внимание созданию микроконтроллеров с 32-разрядной архитектурой. Архитектура ARM7/ARM9, которая является разработкой английской фирмы ARM, фактически стала промышленным стандартом. В статье рассматриваются контроллеры корпорации ATMEL на ядре ARM9.

Типичный разработчик цифровой электронной техники (автор также относит себя к этой категории) начинает свой профессиональный путь с освоения микросхем стандартной логики. Затем в ряде задач, где не требуется максимальное быстродействие, специалист переходит к применению микроконтроллеров. Поработав с несколькими сериями 8-разрядных микроконтроллеров, определенная категория разработчиков, с одной стороны уже имеющая достаточный профессиональный опыт, а с другой – не потерявшая желание совершенствоваться дальше, обращает внимание на микроконтроллеры с 32-разрядной архитектурой. Овладение новой, высокопроизводительной архитектурой означает качественное изменение уровня решаемых задач. Повышенный уровень квалификации также позволяет получать соответствующее вознаграждение за потраченные на освоение нового «железа» недели и месяцы.

В настоящее время число микросхем с 32-разрядной архитектурой чрезвычайно велико, и перед разработчиком стоит нелёгкий выбор – какой из них, в конце концов, отдать предпочтение? Для облегчения этой работы имеет смысл определить требования к выбираемому микроконтроллеру. Необходимо, чтобы микросхема обладала достаточной производительностью, содержала на кристалле нужную периферию, а также имела достаточный набор программных и аппаратных средств разработки. Для того чтобы оптимально решать конкретные задачи, выбираемая микросхема должна принадлежать к какому-либо семейству. Не следует забывать и о таком важном аспекте, как квалифи-

цированная техническая поддержка со стороны производителя. Ведь современный 32-разрядный микроконтроллер – это система на кристалле, функционально аналогичная системной плате персонального компьютера класса Pentium, а по набору периферийных контроллеров подчас и превосходящая типовую системную плату. Чтобы научиться пользоваться всеми возможностями такой микросхемы, приходится внимательно читать техническое описание, которое занимает 700 – 1000 страниц, а также изучать программирование.

Возвращаясь к теме выбора, можно выделить две группы универсальных 32-разрядных микроконтроллеров начального уровня (как правило, это приборы с набором команд RISC-архитектуры). Первая группа – микросхемы производительностью 50 – 70 MIPS, с Flash-памятью и ОЗУ на кристалле, как правило, имеющие корпус TQFP с числом выводов от 48 до 176. Вторая группа – это микросхемы производительностью 180 – 250 MIPS, с внешним загрузочным ПЗУ, обычно имеющем интерфейс SPI, и внешней оперативной памятью (обычно SDRAM), со скоростью шины 60...133 МГц. Такие микросхемы выпускаются в 208-выводных корпусах PQFP и в корпусах BGA, с числом выводов 217 – 324. Интересно, что в обеих вышеописанных группах присутствуют микросхемы на базе ядра ARM. В первой – это ARM7, во второй – ARM9. Микросхемы на ядре ARM7 уже достаточно хорошо освещены на страницах российских специализированных изданий, чего нельзя сказать о микроконтроллерах с ядром ARM9.

Ядро ARM9TDMI является развитием ARM7TDMI и совместимо с ним на

уровне исходных кодов. Аббревиатура TDMI означает следующее:

- T (Thumb architecture extension) – наличие 16-битного набора команд THUMB;
- D (core has debug extension) – наличие аппаратного доступа к ядру для отладки;
- M (core has enhanced multiplier) – наличие аппаратного умножителя;
- I (core has Embedded ICE Macrocell) – наличие встроенного модуля для подключения внутрисхемного эмулятора.

Ядра с обозначением TDMI поддерживают два набора команд – 32-битный набор ARM и 16-битный набор THUMB, являющийся подмножеством набора ARM. В ряде приложений использование набора команд THUMB приводит к уменьшению размера кода и более быстрому выполнению последнего. В отличие от микросхем ARM7, контроллеры на ядре ARM9, как правило, имеют на кристалле кэш-память команд и данных, что повышает общую производительность процессора. Корпорация ATMEL выпускает ряд моделей таких микроконтроллеров (см. табл. 1).

Микросхемы имеют отдельное питание ядра и периферийных модулей 1,8 и 3,3 В соответственно. Причём напряжение питания ядра можно изменять в диапазоне 1,65...1,95 В, управляя таким образом потребляемой мощностью и тактовой частотой ядра контроллера. Такое сочетание параметров позволяет применять микроконтроллеры ARM9 в самых разных приложениях, в том числе для построения низкопотребляющих систем, работающих в режиме реального времени. Для отладки программ предлагается недорогой внутрисхемный эмулятор AT91SAM-ICE. Кстати, он же используется и с микроконтроллерами AT91SAM7.

Отличительная особенность микроконтроллеров корпорации Atmel практически любого семейства – наличие на кристалле обширной периферии. Фирменная черта таких мик-

роконтроллеров – хорошо продуманная технология обмена данными между ядром и портами ввода/вывода.

Разработчику необходимо обеспечить возможность взаимодействия встроенных приложений как с внешними устройствами, так и с ядрами, и предоставить программисту максимальный доступ к управлению этими операциями. Необходимо также обеспечить бесшовную и непрерывную передачу данных между памятью и периферийными устройствами без остановок на переинициализацию счётчика транзакций. Это становится особенно актуальным, если нужно производить передачу потоков данных одновременно по нескольким каналам. Таким образом, в ряде задач на первое место выходит подсистема обслуживания обмена данными между внешними устройствами и внутренней памятью контроллера, иными словами – модуль прямого доступа к памяти. Atmel добавила в архитектуру процессоров семейства ARM9 многоканальный контроллер периферийных каналов прямого доступа к памяти (PDC – Peripheral DMA Controller), напрямую осуществляющий обмен данными между периферийными устройствами, внутренними регистрами и внешней памятью (см. рис. 1).

Как правило, периферийный модуль микроконтроллера AT91 имеет два выделенных канала PDC. Один из них предназначен для приёма данных, другой – для передачи. Каждый канал периферийного контроллера PDC содержит 32-битный регистр-указатель адреса, 16-битный регистр-счётчик пересылок, 32-битный регистр-указатель следующего адреса памяти и 16-битный регистр-счётчик для следующих пересылок. Периферийные модули переключают потоки данных PDC, используя сигналы приёма-передачи. По окончании пересылки первого программного блока данных соответствующий периферийный модуль генерирует прерывание окончания пересылки, после чего автоматически начинается пересылка второго блока данных. Обработка данных первого блока может выполняться параллельно процессором ARM. В этом случае отсутствуют «медленные» прерывания, замедляющие обновление регистров-указателей в режиме реального времени. Таким образом,

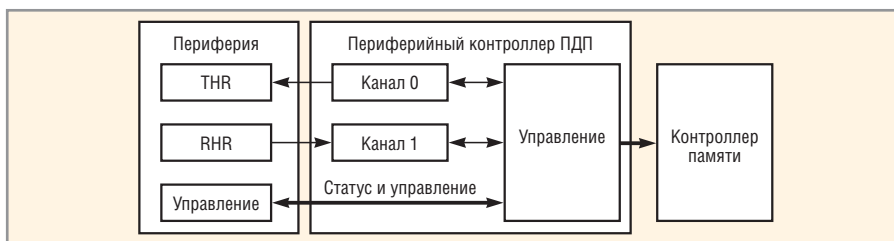


Рис. 1. Структура многоканального контроллера PDC

обеспечивается высокоскоростная пересылка данных в периферийный контроллер. PDC имеет выделенные регистры состояния, указывающие для каждого канала возможность или невозможность пересылки. В любой момент времени можно считать из памяти адрес размещения очередной пересылки и количество оставшихся пересылок.

Все микроконтроллеры Atmel семейства ARM9 содержат модуль управления памятью (MMU, Memory Management Unit). Этот модуль необходим для полноценной работы операционных систем класса Linux или Windows. Для микросхем без модуля MMU, таких как микросхемы на базе ядра ARM7, разработана усечённая операционная система microLinux с ограниченными возможностями.

«Родоначальником» семейства ARM9 у ATMEL является микроконтроллер AT91RM9200, построенный на ядре ARM920TDMI. Эта микросхема выпускается уже несколько лет и изделия на его основе производят многие российские компании.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AT91RM9200

Ниже приведены основные сведения о контроллере AT91RM9200.

Ядро – ARM920T™ ARM® Thumb®

- Ядро контроллера имеет:
- производительность 200 MIPS на частоте 180 МГц;
 - 16 Кб кэш данных, 16 Кб кэш команд, буфер записи;
 - интерфейс к внутрисхемному эмулятору (JTAG);
 - коммуникационный отладочный канал (Debug UART).

Быстродействующая память

Быстродействующие ОЗУ и ПЗУ имеют ёмкость 16 и 128 Кб соответственно.

Внешняя интерфейсная шина (EBI)

Внешняя интерфейсная шина (EBI) поддерживает память SDRAM, Burst Flash, CompactFlash®, SmartMedia™ и NAND Flash.

Системная периферия

В состав системной периферии входят:

- расширенный тактовый генератор и контроллер управления энергопотреблением;
- два встроенных осциллятора с ФАПЧ;
- четыре программируемых источника тактирования.

Таймеры

Контроллер содержит следующие таймеры:

Таблица 1. Краткие характеристики микроконтроллеров ARM9 корпорации ATMEL

Микроконтроллер	Частота ядра, МГц	ОЗУ, Кб	Flash-ПЗУ, Кб	Кэш-память, Кб	Число USART/UART	Порт SPI	Порт TWI	Интерфейс SSC	Входной видеоинтерфейс	Интерфейс I2C	Контроллер CAN	Интерфейс USB Host	Интерфейс USB Device	Контроллер ШИМ	Системный таймер	16-bit таймер	Интервальный таймер	Каналы DMA	Схема сброса	RC-генератор	Число линий вв/выв.	Корпус
91RM9200	180	16	-	32	5	1	1	3	-	1	-	2	1	-	1	6	1	20	-	-	122	QFP208
91SAM9260	210	8	-	16	7	2	1	1	1	1	-	2	1	-	1	6	1	24	2	1	96	QFP208
91SAMXE128	210	16	128	24	7	2	1	1	1	1	-	2	1	-	1	6	1	24	2	1	96	BGA217
91SAMXE256	210	32	256	24	7	2	1	1	1	1	-	2	1	-	1	6	1	24	2	1	96	BGA217
91SAMXE512	210	32	512	24	7	2	1	1	1	1	-	2	1	-	1	6	1	24	2	1	96	BGA217
91SAM9261	240	160	-	32	4	2	1	3	-	1	-	2	1	-	1	3	1	19	2	-	96	BGA217
91SAM9261S	240	16	-	32	4	2	1	3	-	1	-	2	1	-	1	3	1	19	2	-	96	BGA217
91SAM9263	240	96	-	32	4	2	1	2	1	2	1	2	1	4	2	3	1	22	2	-	160	BGA324

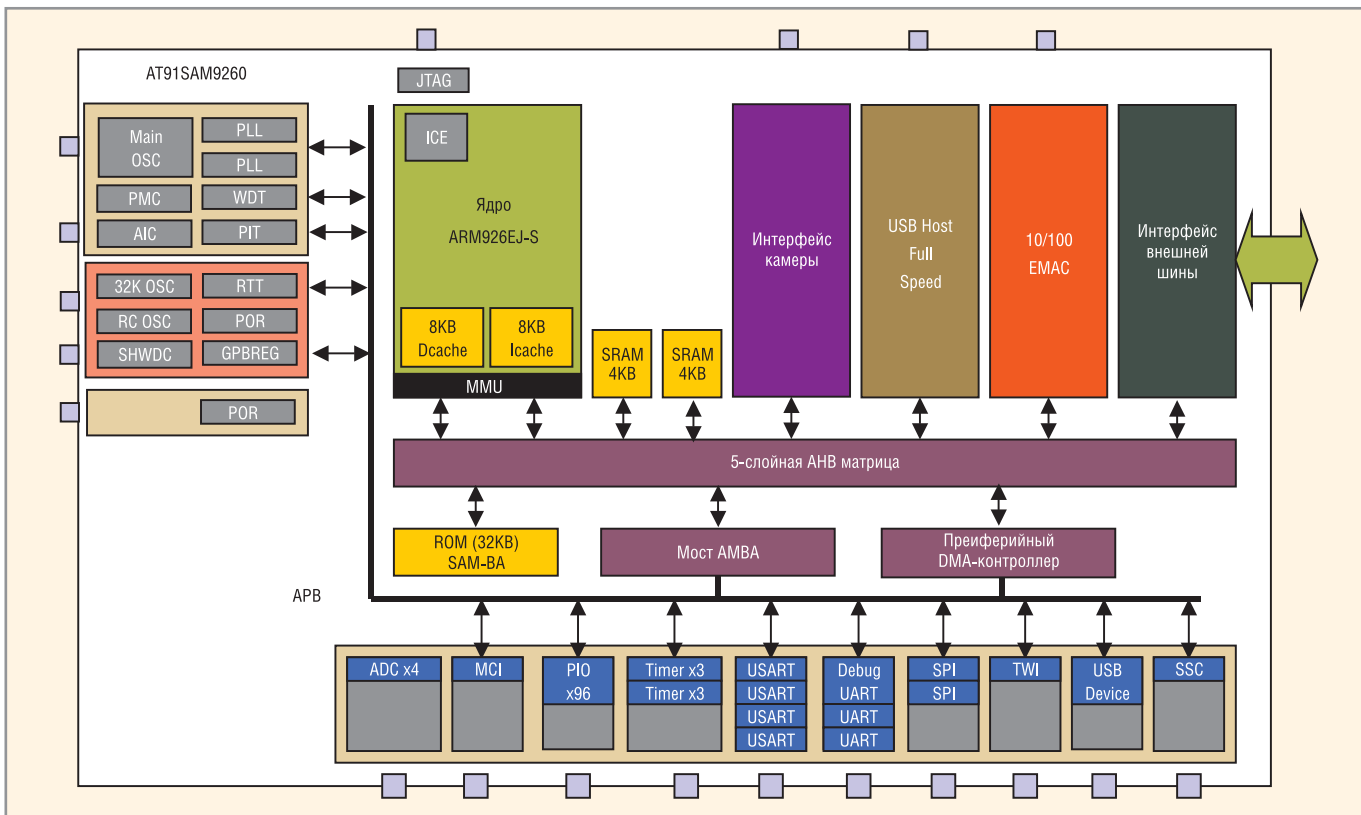


Рис. 2. Структурная схема микроконтроллера AT91SAM9261

- таймер часов реального времени с отдельным прерыванием;
- интервальный таймер;
- два трёхканальных 16-битных таймера/счётчика;
- сторожевой таймер.

Контроллер прерываний

Контроллер прерываний имеет:

- 8 уровней маскируемых прерываний с приоритетом;
- 7 внешних источников прерывания и «1-скоростной» источник прерывания;

- четыре 32-битных контроллера ввода/вывода с 122 программируемыми линиями ввода/вывода;
- 20-канальный периферийный контроллер данных (DMA).

Модуль Ethernet MAC 10/100 Base-T

Модуль Ethernet MAC 10/100 Base-T имеет:

- режим MII или RMII;
- буфер FIFO на 28 байт и выделенные каналы DMA на приём и передачу.

HOST-порт USB 2.0 (12 Мб/с)

HOST-порт USB 2.0 (12 Мб/с) имеет буфер FIFO и выделенные каналы DMA.

Device-порт USB 2.0 (12 Мб/с)

Device-порт USB 2.0 (12 Мб/с) имеет буфер FIFO 2 Кб.

Интерфейс мультимедиа карт (MCI)

Интерфейс мультимедиа карт (MCI) поддерживает автоматическое управление протоколом, две карты SD-Memory и совместим с MMC- и SD-картами памяти.

Микроконтроллер AT91RM9200 также имеет три синхронных последовательных контроллера (SSC), поддержку интерфейса I2S, четыре универсальных синхронно-асинхронных интерфейса USART, асинхронный интерфейс UART, который также можно использовать для отладки, двухпроводный интерфейс TWI, совместимый с I2C, поддержку режима Master Mode, последовательный интерфейс SPI (режим Master/Slave).

Последующие микросхемы семейства ARM9 построены на более совершенном ядре ARM926EJ-S с поддержкой DSP-команд и JAVA-акселератором. Они называются Smart ARM9 или SAM9. Такое название подразумевает, что новые микросхемы наделены до-

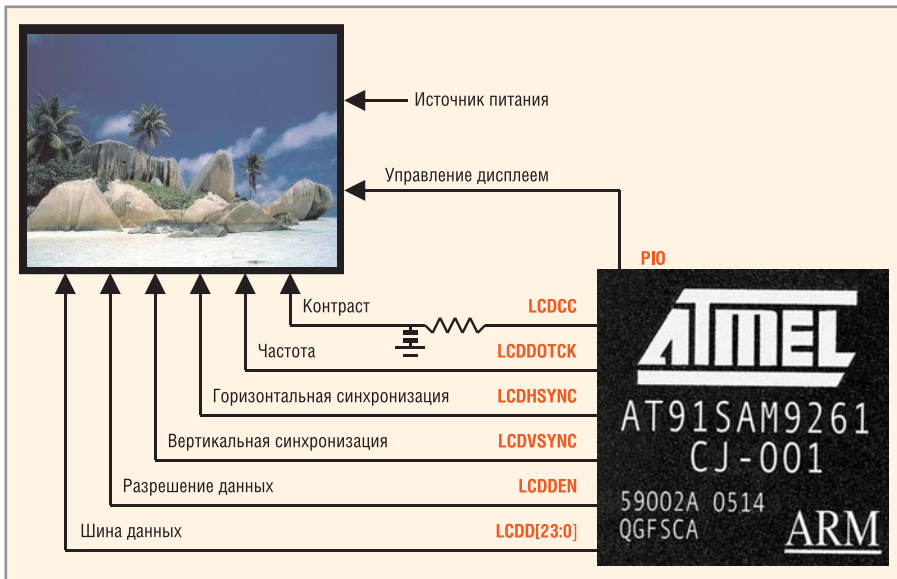


Рис. 3. Структурная схема подключения TFT-матрицы

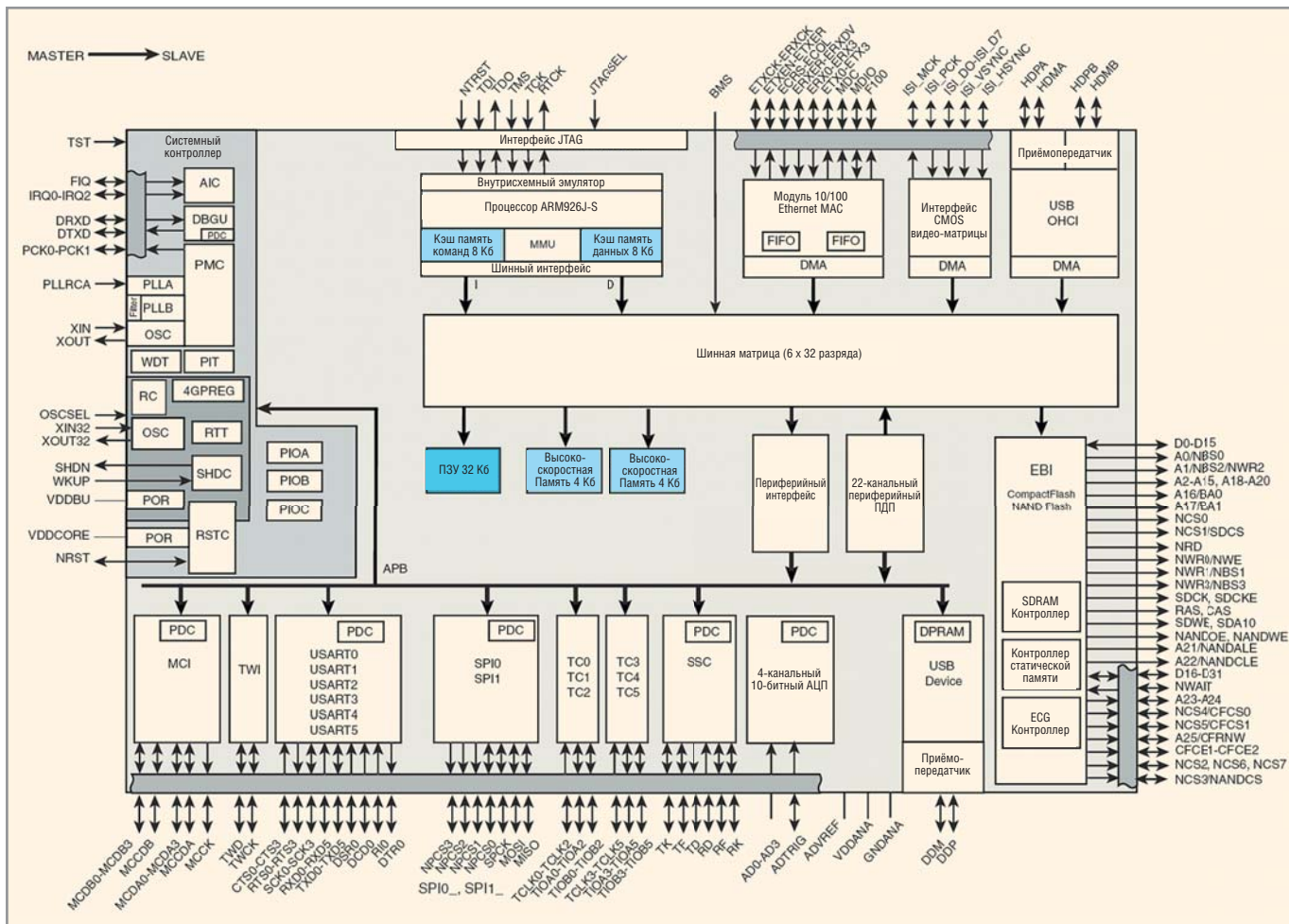


Рис. 4. Структурная схема микроконтроллера AT91SAM9260

полнительными функциями, расширяющими возможности и одновременно упрощающими работу с контроллерами. В частности, эти микросхемы имеют возможность загрузки внешней Flash-памяти прямо через микроконтроллер, используя его в качестве программатора. Для загрузки используется программа SAM-BA (Smart ARM Boot Assistance). Программа также позволяет просматривать содержимое оперативной памяти.

Как упоминалось выше, для ускорения процесса передачи данных в микросхемах ARM9 использован многоканальный контроллер прямого доступа к памяти (DMA-controller). Однако средняя скорость передачи данных будет определяться пропускной способностью внутренней шины данных. В контроллерах SAM9 эта задача решена кардинально – на кристалле размещены несколько шин данных. В микросхеме AT91SAM9261 насчитывается пять шин данных, что позволяет получить впечатляющую пропускную способность – 14,4 Гбит/с. Структурная схема микроконтроллера AT91SAM9261 представлена на рис. 2.

Эта микросхема интересна тем, что на кристалле размещён контроллер ЖК-дисплея, способный работать как с пассивной (STN), так и с активной (TFT) матрицами. Максимальное разрешение матрицы – 2048 × 2048 точек, глубина цвета – до 24 бит на точку. Структурная схема подключения TFT-матрицы представлена на рис. 3.

Микросхема содержит на кристалле статическую оперативную память объёмом 160 Кб, работающую на частоте шины. Если выходным устройством является матрица с разрешением не больше 320 × 240 точек при глубине цвета больше 16 бит, то внутрен-

нюю память контроллера можно использовать в качестве видеопамяти.

Следующая микросхема рассматриваемого семейства – AT91SAM9260. У неё число внутренних шин увеличено до 6. Также на её кристалле размещён модуль видеоинтерфейса ISI (Image Sensor Interface), работающий с цветной CMOS-матрицей. Структурная схема AT91SAM9260 представлена на рис. 4.

На основе этой микросхемы разработаны микроконтроллеры AT91SAMXE, содержащие на кристалле Flash-ПЗУ объёмом от 128 до 512 Кб. Интересно, что типы корпуса

Таблица 2. Характеристики интерфейсов контроллера AT91SAM9263

Интерфейс	Характеристики	Скорость, Мб/с
Ethernet	Поддержка 10/100 MII/RMII	100
SPI	Режим Master/Slave. До 4 Chip Selects	50
SSC	Поддержка режима I2S	50
MCI	Поддержка SD-card, MMC-card, SDIO	25
USART	Асинхронный и синхронный обмен, IrDA, ISO7816, поддержка работы с модемом	12 (асинхронный режим) 50 (синхронный режим)
DBGU	Отладочный порт/дополнительный UART	12
USB	2.0 Full Speed интерфейс	12
CAN	Режимы 2,0 A, 2,0 B	1
TWI (I ² C)	Режимы Master, Slave, Multi-Master	0,4

(TQFP208 и BGA217) и цоколёвка микросхем AT91SAMXE и AT91SAM9260 совпадают. То есть их можно распаять на ту же печатную плату. Структурная схема AT91SAM9XE отличается от AT91SAM9260 только наличием модуля Flash-ПЗУ.

Самой высокоинтегрированной микросхемой в семействе SAM9 является контроллер AT91SAM9263. Здесь присутствует практически вся периферия, которая в различных комбинациях использована в микросхемах SAM9, а именно все типы портов (причём для высокоскоростного обмена можно использовать два параллельных 32-разрядных порта), два типа памяти ОЗУ в допол-

нение к кэш-памяти команд и данных, контроллер ЖК-матрицы с 2D-ускорителем, контроллер CMOS-сенсора. В табл. 2 представлены данные по скорости обмена для последовательных интерфейсов контроллера AT91SAM9263.

Для организации передачи потоков данных внутри кристалла использована матрица из 9 шин данных. Естественным для столь насыщенной микросхемы является применение двух параллельных 32-разрядных шин с частотой 100 МГц. Микросхема имеет корпус BGA324.

Объём статьи не позволяет подробно остановиться на каждом микроконтроллере, однако, даже из краткого

обзора видно, что спектр 32-разрядных микроконтроллеров производства корпорации Atmel выполняет чрезвычайно широкий круг задач и имеет очень хорошие перспективы для развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические описания микросхем: <http://www.atmel.com/products/AT91>.
2. Материалы технических семинаров: <http://atmel.argussoft.ru/seminars>.
3. 32-разрядные микроконтроллеры ATMEL на базе ядра ARM7. Компоненты и технологии. 2006. № 6.
4. Современные микроконтроллеры ATMEL: акцент на 32 разряда. Электронные компоненты. 2006. № 12.

