Atmel: микроконтроллеры SAM7 и SAM9 в 2008 году

НИКОЛАЙ КОРОЛЕВ, руководитель инженерного центра, ООО «АРГУССОФТ КОМПАНИ »

Равнее корпорация Atmel проводила объединенные технические семинары по новым продуктам. Как правило, эти семинары проводились в конференц-залах больших отелей. Перед техническими специалистами дистрибьюторских компаний выступали представители практически всех линий компонентов, выпускаемых корпорацией. С течением времени ситуация изменилась. Новых материалов стало настолько много, что для общего семинара потребовалось бы две недели, но практически невозможно собрать участников на такой длительный период времени. Теперь Atmel проводит специализированные семинары, причем они проходят на территории центров разработки корпорации, что способствует более тесному общению дистрибьюторов с создателями новой продукции.

В конце июня 2008 г. такой семинар, посвященный ARM-контроллерам, проходил на фабрике номер 7 корпорации Atmel, расположенной на юге Франции в городе Rousset. Автор был участником этого события, и, собственно, на основе материалов семинара написана данная статья.

Семейство SAM7 в настоящее время уже содержит несколько групп микроконтроллеров (МК) и покрывает типовые направления применения ARM7-микроконтроллеров. Все SAM7-контроллеры имеют встроенную Flash-память программ, которая может быть запрограммирована различными способами — через порт USB, COM-порт, JTAG-интерфейс либо на специальных промышленных программаторах. В первых двух случаях для программирования используется программа-монитор, которая хранится в ROM-памяти микросхемы, и запускается после проведения операции стирания кристалла. Со стороны компьютера с этой программой–монитором работает утилита SAM-BA (Smart Boot Assistance). На текущий момент SAM-BA работает под управлением операционной системы Windows, однако программисты Atmel работают над версией SAM-BA под Linux. Для защиты от несанкционированного чтения содержимого Flash-памяти программ, микросхемы содержат бит защиты (security bit). Кроме этого, существует набор битов блокировки (lock-bits), которые запрещают возможность модификации содержимого определенных регионов памяти во время исполнения рабочей программы.

Типовыми операциями для МК, помимо собственно вычислений, являются работа по пересылке данных. Существенное увеличение скорости работы достигается за счет применения периферийных контроллеров прямого доступа к памяти ПДП (Peripheral DMA Controller, PDC). Это аппаратное решение позволяет организовать прием и передачу массивов данных, не используя ресурсы ядра контроллера. Число ПДП на кристалле — не менее 9, причем нужно отметить, что каждый ПДП фактически содержит 4 контроллера, что снимает ограничения на длину массива данных, обрабатываемого контроллером. Основные технические характеристики контроллеров SAM7 представлены в таблице 1.

Ожидаемой новинкой 2008 г. является выпуск старшей микросхемы в серии SAM7X — это контроллер

Таблица 1. ***Основные технические характеристики контроллеров SAM7***

	Частота ядра, МГц	SRAM, байт	Flash, байт	DMA каналы	Интерфейс UART	Интерфейс USART	Интерфейс SPI	Интерфейс TWI	Интерфейс SSC	Интерфейс MCI	CAN-контроллер	USB Device 12 Мбит/с	16-bit счетчики	ШИМ-контроллер	Системный таймер	Сторожевой таймер	10-разрядный АЦП	RC-генератор	16-мА выходы	Входы/выходы	Корпус TQFP, выводы
SAM7S16	55	4	16	9		1	1		1	—	—	–					8			21	48
SAM7S161	55	4	16	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7S32	55	8	32	9		1	1		1	—	—	–					8			21	48
SAM7S321	55	8	32	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7S64	55	16	64	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7S128	55	32	128	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7S256	55	64	256	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7S512	55	64	512	11		2	1		1	—	—	1					8			32	64
SAM7X128	55	32	128	13	1	2	2	1	1	—	1	1	3	4	+	+	8	+	4	60	100
SAM7X256	55	64	256	13		2	2		1	—	1	1					8			60	100
SAM7X512	55	128	512	13		2	2		1	—	1	1					8			60	100
SAM7A3	60	32	256	19		3	2		2	+	2	1					16			62	100
SAM7SE32	48	8	32	11		2	1		1	—	—	1					8			88	128
SAM7SE256	48	32	256	11		2	1		1	—	—	1					8			88	128
SAM7SE512	48	32	512	11		2	1		1	—	—	1					8			88	128
SAM7L64	39	6	64	13		2	1		1	—	—	—					4			80	128
SAM7L128	39	6	128	13		2	1		1	—	—	—					4			80	128

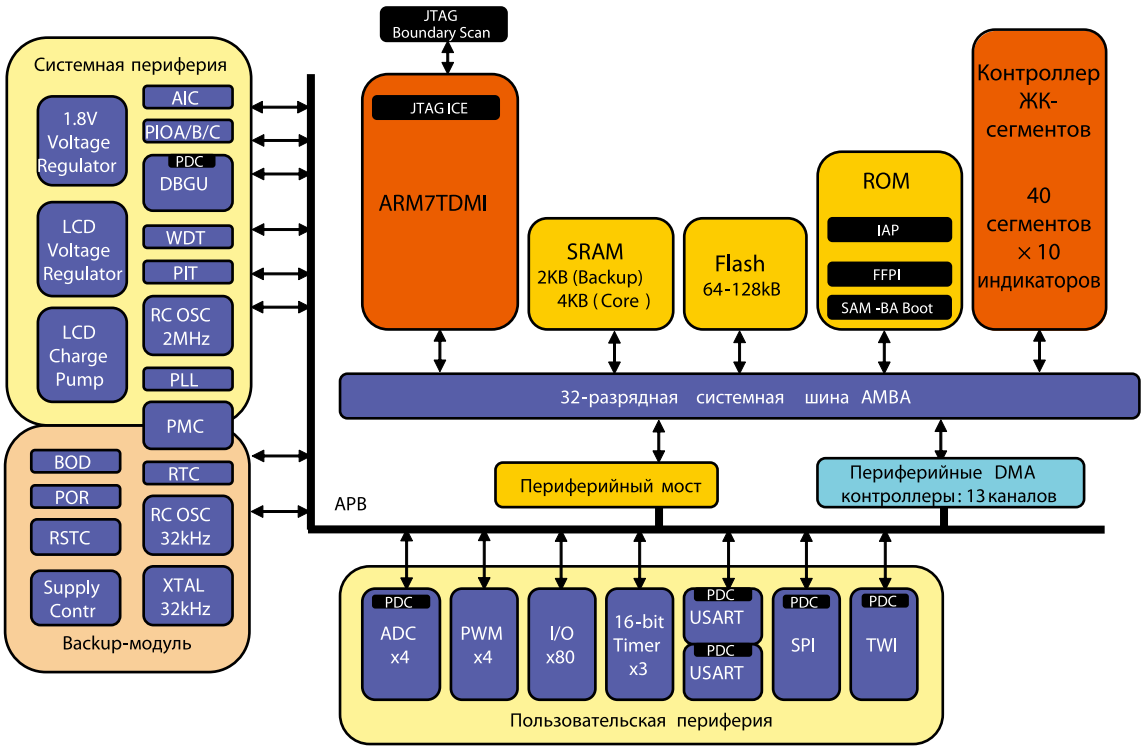


Рис. 1. ***Структурная схема AT91SAM7L***

AT91SAM7X512. Отличительной особенностью микросхемы является увеличенный объем памяти, как Flash — 512 Кбайт, так и SRAM — 128 Кбайт. Это первый контроллер в серии, имеющий столь большую оперативную память на кристалле.

Однако, наибольшее время на семинаре было уделено другой микросхеме — AT91SAM7L. Главные особенности серии SAM7L — это сверхнизкое потребление и наличие встроенного контроллера ЖКИ. Потребляемая мощность тесно связана с топологическими нормами, по которым производится микросхема, причем динамическая мощность уменьшается со снижением топологического размера, а статическая, наоборот, возрастает. Это связано с токами утечки на кристалле. Микроконтроллеры, изготавливаемые по технологическому процессу 0,25 микрон и менее, имеют статический ток порядка единиц микроампер. Снижение потребляемого тока в режиме ожидания в контроллерах SAM7L реализовано путем использования микромощной выделенной статической памяти объемом 2 Кбайта. При переходе в режим ожидания все содержимое регистров копируется в эту память, после чего микроконтроллер обесточивается. При возвращении в активный режим содержимое регистров восстанавливается. Такая организация управлением потребляемой мощностью позволили добиться впечатляющих результатов. В режиме OFF-mode, когда контроллер находится в режиме глубокого сна, типовой потребляемый ток составляет всего 100 наноампер! В активном режиме типовой потребляемый ток составляет 0,5 mA/МГц, Снижение тока в этом режиме достигнуто за счет использования техпроцесса 0,18 микрон, уменьшения напряжения питания ядра до 1,55 В и расширения шины данных Flash-памяти до 128 бит. Максимальная рабочая частота микросхемы — 39 МГц. Тип корпуса — TQFP128 и BGA144. На рисунке 1 приведена структурная схема микроконтроллера AT91SAM7L.

МК AT91SAM7L — первая микросхема в семействе, имеющая встроенный контроллер ЖКИ. Контроллер может управлять знаковым жидкокристаллическим индикатором емкостью до 400 сегментов. Поддерживаются как статические, так и динамические ЖКИ. На кристалле AT91SAM7L есть отдельный модуль питания ЖКИ с программно регулируемым выходным напряжением 2,4 В … 3,4 В, для настройки контраста индикатора.

Для работы с МК AT91SAM7L Atmel выпустил отладочный комплект, состоящий из платы индикатора с клавиатурой и интерфейсной платы.

Состав платы индикатора:

– 400-сегментный ЖКИ;
– клавиатура из 35 кнопок;
– два держателя для батарей размера AAA;
– инфракрасный приемопередатчик;
– датчик температуры;
– датчик давления;
– разъем для подключения карты памяти DataFlash® SD/MMC;
– разъем для подключения приемопередатчика ZigBee.

На рисунке 2 представлена плата индикатора комплекта AT91SAM7L-EK

Рис. 2. ***Плата индикатора комплекта AT91SAM7L-EK***

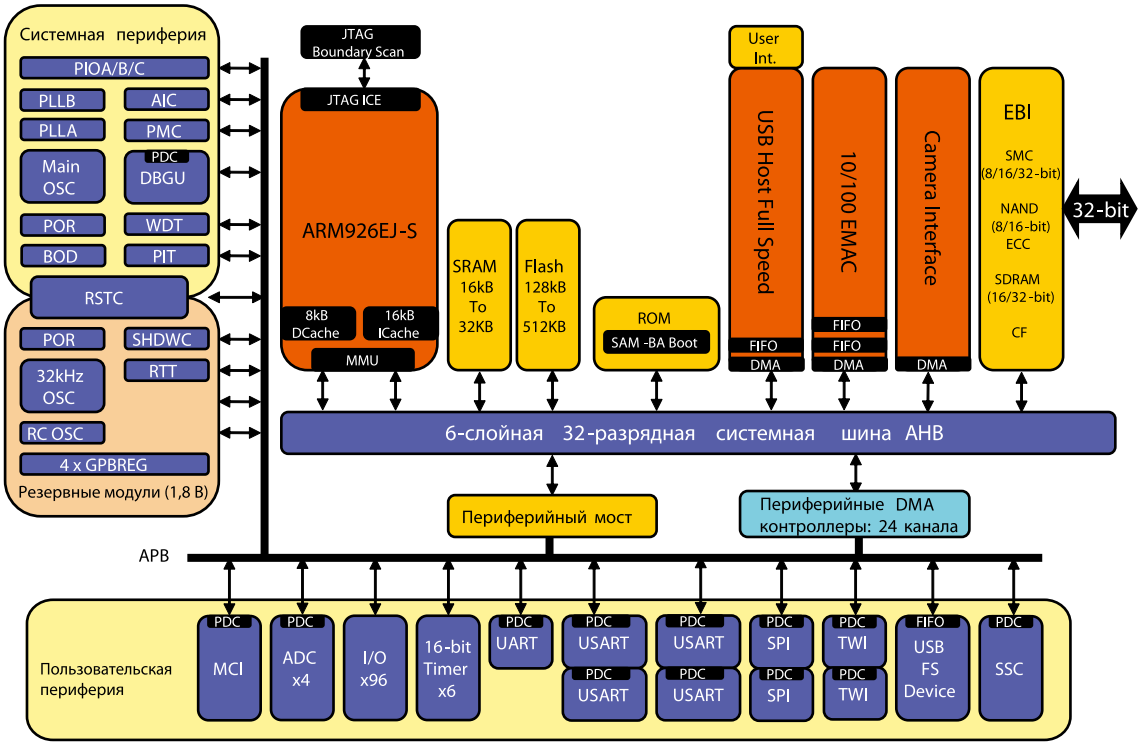


Рис. 3. ***Структурная схема AT91SAM9XE***

В стадии разработки находится семейство ARM-контроллеров AT91SAM3. Эти контроллеры построены на ядре Cortex-M3. Ожидается, что они будут иметь в несколько раз более высокую производительность, которая будет обеспечена, с одной стороны, применением более совершенного ядра, а, с другой стороны — повышением тактовой частоты контроллеров AT91SAM3.

СЕМЕЙСТВО SMART ARM9

Микросхемы класса ARM9 корпорации Atmel построены на базе ядра ARM926EJ-S, имеющего Гарвардскую архитектуру. Пожалуй, самый популярный микроконтроллер корпорации Atmel семейства Smart ARM9, который применяется в новых разработках — это микросхема AT91SAM9260. Наличие шестислойной шины данных, хорошего набора периферии, включающей Ethernet MAC 10/100 Base T, USB device и USB Host, а также цена менее 200 рублей, делают SAM9260 универсальным контроллером для множества применений. В ряде случаев еще одним достоинством является наличие двух типов корпусов, PQFP208 и BGA217. Основные технические характеристики контроллеров SAM9 представлены в таблице 2.

Новинки SAM9, представленные на семинаре, можно рассматривать, как развитие контроллера SAM9260. Во-первых, это контроллер AT91SAM9XE. Микросхема имеет увеличенный объем памяти SRAM, а также кэш-памяти команд и данных. Принципиальная новизна SAM9XE состоит в наличии на кристалле 128-разрядной Flash-памяти объемом от 128 до 512 Кбайт. Таким образом, SAM9XE является первым контроллером с быстродействием 200 MIPS, оснащенным Flash-памятью. Из полезных «мелочей» стоит отметить появление триггеров Шмитта на всех линиях ввода/вывода, увеличение буфера FIFO-памяти в Ethernet-контроллере до 128 байт и улучшенный контроллер работы с NAND-памятью. Так как новая микросхема имеет такой же корпус, ее можно использовать в платах, разработанных для SAM9260. На рисунке 3 представлена структурная схема AT91SAM9XE. Она отли-

Таблица 2. ***Основные технические характеристики контроллеров SAM9***

	Частота ядра, МГц	Частота внутр. шины, МГц	Число шин на кристалле	ОЗУ, Кбайт	Flash–ПЗУ, Кбайт	Кэш–память, Кбайт	Число USART/ UART	Порт SPI	Порт TWI	Интерфейс SSC	Входной видео-интерфейс	Интерфейс MCI	Контроллер CAN	Интерфейс USB Host	Интерфейс USB Device	Контроллер ШИМ	16–бит таймер	Каналы DMA	Число линий вв/выв.	Корпус, PQFP/BGA, число выводов
SAM9260	210	105	6	8	–	16	7	2	1	1	1	1	–	2	1	–	6	24	96	208/217
SAM9XE128	210	105	6	16	128	24	7	2	1	1	1	1	–	2	1	–	6	24	96	208/217
SAM9XE256	210	105	6	32	256	24	7	2	1	1	1	1	–	2	1	–	6	24	96	208/217
SAM9XE512	210	105	6	32	512	24	7	2	1	1	1	1	–	2	1	–	6	24	96	208/217
SAM9G20	400	133	6	16	–	64	7	2	1	1	1	1	–	2	1	–	6	24	96	–/217/247
SAM9261	240	120	5	160	–	32	4	2	1	3	–	1	–	2	1	–	3	19	96	–/217
SAM9261S	240	120	5	16	–	32	4	2	1	3	–	1	–	2	1	–	3	19	96	–/217
SAM9R64	240	120	6	64	–	8	1	1	1	1	–	1	–	–	HS	3	3	18	49	–/144
SAM9RL64	240	120	6	64	–	8	1	2	2	2	–	1	–	–	HS	4	3	22	118	–/217
SAM9263	240	120	9	96	–	32	4	2	1	2	1	2	1	2	1	4	3	22	160	–/324
SAM9G41	400	133	9	96	–	32	4	2	1	2	1	2	1	HS	HS	4	3	22	160	–/324
SAM9M10	400	133	9	64	–	64	5	2	2	2	1	2	–	HS	HS	4	6	21	160	–/324
SAM9M11	400	133	9	64	–	64	5	2	2	2	1	2	–	HS	HS	4	6	21	160	–/324

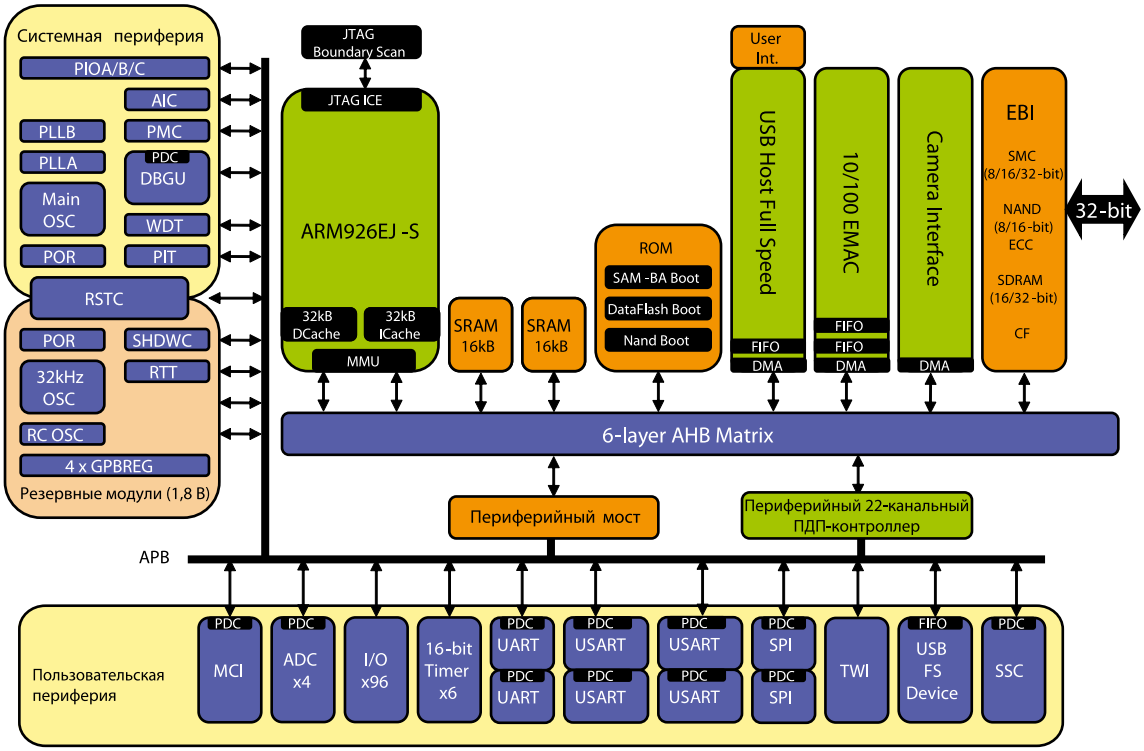


Рис. 4. ***Структурная схема AT91SAM9G20***

чается от схемы AT91SAM9260 только наличием модуля FLASH-ПЗУ.

Следующей модернизированной версией SAM9260 является контроллер AT91SAM9G20. Здесь конфигурация кристалла оставлена прежней (что подчеркивает удачный дизайн), но изменен технологический процесс, по которому выпускается микросхема: это первый контроллер SAM9, изготавливаемый по техпроцессу 90 нм. Как следствие — частота ядра увеличена до 400 МГц, частота внутренней шестислойной шины данных и частота внешней SDRAM-памяти — до 133 МГц. Кроме этого, питание ядра уменьшено с 1,8 В до 1,0 В, благодаря чему снижена потребляемая мощность кристалла.

В SAM9G20 приняты меры по снижению излучаемых электромагнитных помех. Известно, что каждое переключение цифрового ключа генерирует помеху, причем основным значением в уровне мощности помехи является не частота переключения ключа, а крутизна фронта выходного импульса, который вырабатывает ключ. Так, например, уровень помехи от ключа, который работает на частоте 66 МГц и выдает импульсы с длительностью фронта 1 нс будет выше, чем от ключа, работающего на частоте 133 МГц и вырабатывающий импульсы с длительностью фронта 5 нс. С учетом этого факта, в микросхеме SAM9G20 введена возможность управления крутизной фронта импульсов выдаваемых на внешнюю шину адреса/данных.

В новой микросхеме появились опции, позволяющие управлять процессом загрузки программы. К существующим способам загрузки из памяти типа DataFlash (серия AT45) и NandFlash добавлена возможность загрузки из памяти SerialFlash (серия AT25/AT26), SD-card и EEPROM. Так же как и в SAM9XE, в SAM9G20 применены триггеры Шмитта на всех линиях ввода/вывода, увеличен буфера FIFO-памяти в Ethernrt-контроллере до 128 байт и использован улучшенный контроллер работы с NAND-памятью. Структурная схема AT91SAM9G20 представлена на рисунке 4.

В 2008 году Atmel выпустила первый микроконтроллеры в семействе SAM9 с высокоскоростным портом USB, AT91SAM9R64 и AT91SAM9RL64. Порт USB имеет 7 точек (Endpoint), причем шесть из них имеют собственные контроллеры ПДП и поддерживают все четыре типа обмена данных по интерфейсу (Control, Bulk, Isochronous, Interrupt). Эти микросхемы позиционируются для применений в качестве интеллектуальных периферийных контроллеров, подключаемых к хост-компьютеру через интерфейс USB. Структурная схема AT91SAM9RL64 представлена на рисунке 5.

Микросхема AT91SAM9R64 является упрощенной версией AT91SAM9RL64, без контроллера графического ЖКИ и аудиоинтерфейса. Отличия микросхем представлены в таблице 3. Микросхема AT91SAM9RL64 оснащена специализированным АЦП для работы с сенсорным экраном. Поддерживаются 4-проводные резистивные сенсорные панели.

Частота, на которой работает ядро, составляет 200 МГц при напряжении питания 1,1 В и 240 МГц при напряжении питания 1,2 В. Из особенностей этих микросхем следует отметить наличие выделенного контроллера ПДП, предназначенного для пересылок данных по параллельной внешней шине, а также быстродействующей памяти SRAM объемом 64 Кбайт, которая подключена к ядру напрямую и работает на скорости ядра.

Ниже приведено краткое описание микроконтроллера AT91SAM9RL64.

Ядро — ARM926EJ-S™ ARM® Thumb®: DSP Instruction Extensions,

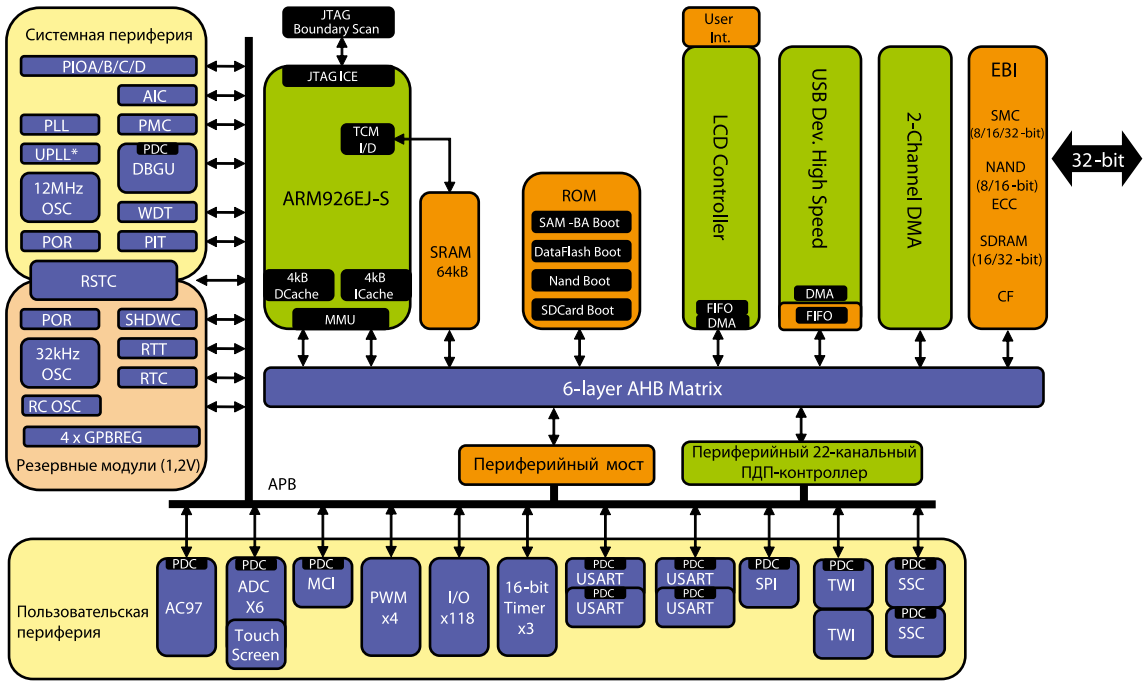
- 6-слойная шинная матрица (32-разряда × 6);
- производительность 265 MIPS на частоте 240МГц;
- 4 Кбайт кэш данных, 4 Кбайт кэш команд;
- интерфейс к внутрисхемному эмулятору (JTAG);
- коммуникационный отладочный канал (Debug UART).

Быстродействующая память:

- 64 Кбайт ОЗУ и 32 Кбайт масочное ПЗУ.

Таблица 3. ***Основные различия микросхем SAM9RL64 и SAM9R64***

Название	Порт USB HS	Внешняя шина	Конроллер ЖКИ	Сенсорная панель	Интерфейс AC97	Корпус
SAM9RL64	+	+	+	+	+	BGA217
SAM9R64	+	16 разр.	–	ADC	–	BGA144



* UPLL ⇔ UTMI PLL: Universal Transceiver Macrocell Interface PLL

Рис. 5. ***Структурная схема AT91SAM9RL64***

Внешняя интерфейсная шина (EBI):

– поддержка памяти SDRAM, Burst Flash, CompactFlash®, SmartMedia™ и NAND Flash.

Системная периферия:

– расширенный тактовый генератор и контроллер управления энергопотреблением;

– два встроенных осциллятора с ФАПЧ;

– четыре программируемых источника тактирования.

Контроллер графического ЖКИ

– разрешение до 2048 × 2048;

– до 24 бит/пиксел в TFT-режиме, до 16 бит/пиксел в STN-режиме;

– выделенный АЦП для работы с резистивным сенсорным экраном.

Таймеры:

– таймер часов реального времени с отдельным прерыванием;

– интервальный таймер (20 + 12 разрядов);

– два трехканальных 16-битных таймера/счетчика;

– сторожевой таймер.

Контроллер прерываний:

– 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;

– 22-канальный периферийный контроллер данных (DMA).

Device-порт USB 2.0 (480 Мбит/с):

– буфер Dual Port RAM 4 Кбайт.

Интерфейс мультимедиа карт (MCI):

– автоматическое управление протоколом;

– совместимость с MMC, SD/SDIO-картами памяти, поддержка двух карт SD-Memory;

– 10-разрядный 4-канальный АЦП;

– контроллер AC97C, 6-канальный интерфейс.

А также:

– два синхронных последовательных контроллера (SSC), поддержка интерфейса I^2S;

– четыре универсальных синхронно-асинхронных интерфейса USART;

– асинхронный интерфейс UART, который также можно использовать для отладки;

– два двухпроводных интерфейса TWI, (совместимый с I^2C);

– последовательный интерфейс SPI (Master/Slave режим);

– корпус BGA217.

На семинаре были представлены перспективные разработки на ядре ARM9: контроллеры AT91SAM9G41, AT91SAM9M10 и AT91SAM9M11. Это — «старшие» микросхемы, с двумя шинами адрес/данные и поддержкой памяти DDR2, которые придут на смену выпускающейся в настоящее время AT91SAM9263. Естественно, новые микросхемы будут оснащены высокоскоростными портами USB Host и USB Device. Структурная схема AT91SAM9G41 представлена на рисунке 6.

ПРОГРАММНЫЕ РЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

Шведская компания IAR выпускает версию Си-компилятора, где обеспечена поддержка контроллеров SAM7 и SAM9. Для знакомства с работой компилятора можно установить демонстрационную версию пакета — Kick Start, с ограничением размера исполняемого кода до 32 Кбайт. Интегрированные среды для программирования предлагают также компании Keil из Германии и Rowley из Великобритании.

Наряду с коммерческими пакетами программ широко используется бесплатный Си-компилятор GCC. Изначально он написан для работы в операционной системе Linux, однако, есть версия GCC для работы в Windows, называется WinARM. В чистом виде работа с компилятором WinARM осуществляется из командной строки, но, также существует возможность собрать полную среду программирования, используя пакет Eclipse, разработанный фирмой IBM в рамках проекта Open Source. Процедура сборки среды описана на сайте www.yagarto.de

Если разрабатывается проект на базе контроллеров SAM9, то часто оптимальным решением будет установка на плату операционной системы Linux. В этом случае снимается ряд проблем, связанных с написанием драйверов к стандартной периферии, так как они уже включены в

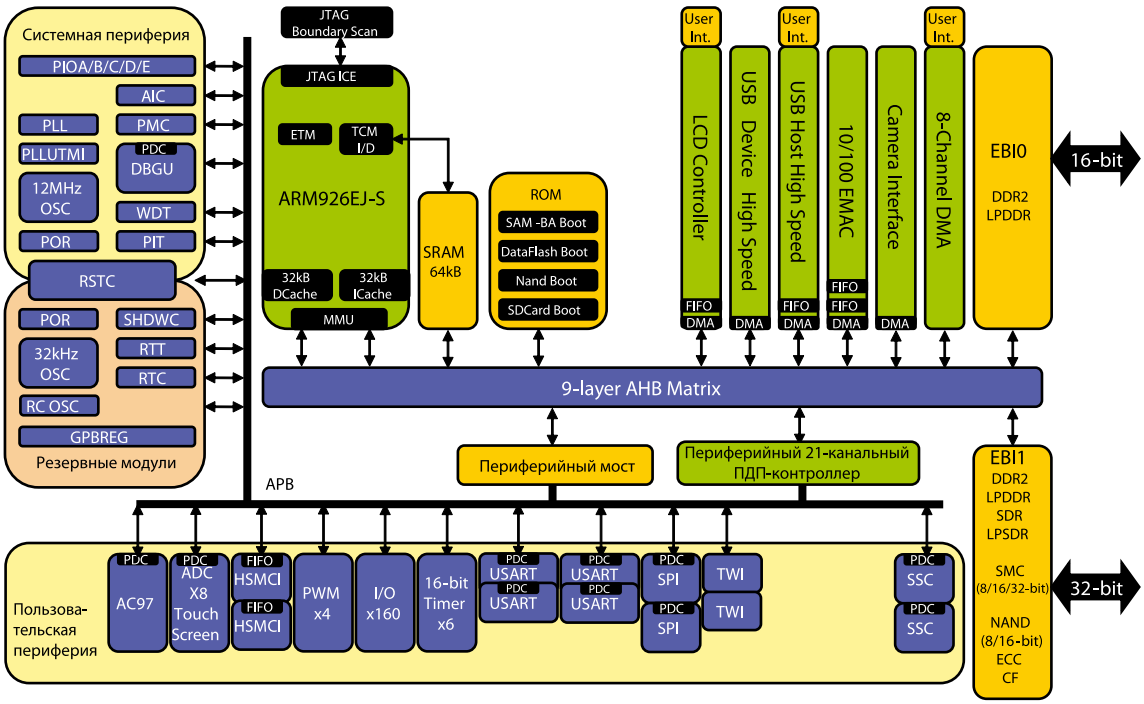


Рис. 6. ***Структурная схема AT91SAM9G41***

сборку Linux, которая доступна для использования с контроллерами SAM9. Естественно, для этого нужно понимать, как функционирует эта операционная система. Следующим логичным шагом будет разработка программного обеспечения для SAM9 также в операционной системе Linux, которую нужно установить на рабочий компьютер. Есть компромиссное решение — использовать загрузочный компакт-диск с Linux. При этом снижается общая скорость работы, однако, не требуется модификация программного обеспечения рабочего компьютера. Именно такой способ был использован на техническом семинаре Atmel — участникам раздали уже готовые компакт-диски, и мы проводили компиляцию тестовых заданий для фирменных отладочных плат.

Много полезной информации можно получить на сайтах корпорации ATMEL www.atmel.com/products/at91/default.asp , www.at91.com и http://www.linux4sam.org.

На последнем сайте выложено много примеров программ, загрузчиков Linux и рекомендаций по установке операционной системы на SAM-контроллеры. Корпорация ATMEL сотрудничает с фирмой Timesys, которая предлагает свой продукт LinuxLink. www.timesys.com/services/atmel.htm. Хотя это коммерческий проект, на сайте выложен бесплатный пакет «LinuxLink board support package (BSP)», которым можно пользоваться для изучения основ инсталяции Linux на контроллеры SAM9.

Еще одним партнером корпорации ATMEL по применению SAM9 является компания ADENEO, www.adeneo-embedded.com которая специализируется на портировании на SAM9 операционной системы Windows CE.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Материалы технического семинара Atmel Rousset июнь, 2008*
2. *Королев Н. 32-разряда от Atmel: развитие ARM-контроллеров//Компоненты и технологии, 2008, №1.*
3. *Королев Н., Шабынин А., ARM-микроконтроллеры Atmel: Практические аспекты применения. Часть 2.//Электронные компоненты, 2007, № 8*
4. *Королев Н., Шабынин А. ARM-микроконтроллеры Atmel: Практические аспекты применения. Часть 1//Электронные компоненты, 2007, № 7*
5. *Королев Н., Шабынин А. ARM-микроконтроллеры ATMEL: аппаратные средства разработчика//ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2007, №6*
6. *Королев Н. Современные микроконтроллеры ATMEL: акцент на 32-разряда//Электронные компоненты, 2006, №12.*
7. *Королев Н. 32-разрядные микроконтроллеры ATMEL на базе ядра ARM7//Компоненты и технологии, 2006, №6.*