

Этап эволюции: переход с 8- на 32-разрядные системы как объективная реальность. Сравнительный анализ современных 8- и 32-разрядных микроконтроллеров

(часть 2)

Юрий Зобнин (Москва)

В этой части статьи выделены основные критерии целесообразности перехода на 32-разрядные микроконтроллеры, проведён сравнительный анализ 8- и 32-разрядных микроконтроллеров по каждому критерию. Приведены справочные данные по наиболее популярным 32-разрядным микроконтроллерам с ядром ARM7 ведущих мировых производителей.

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕХОДА НА 32-РАЗЯРДНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

Для принятия решения о переводе своих встраиваемых систем на 32-разрядную платформу необходимо провести сравнение 8- и 32-разрядных микроконтроллеров по следующим основным критериям:

- уровень функциональной интеграции микроконтроллеров;
- стоимость самого микроконтроллера;
- требования к производительности системы и проблемы реального времени;
- требования к энергопотреблению, режимы энергосбережения;
- возможность переноса программного обеспечения на новую платформу;
- доступность и качество средств разработки и отладки (интегрированных сред, компиляторов, отладчиков, программаторов).

Рассмотрим каждый из перечисленных критериев подробнее.

Уровень функциональной интеграции микроконтроллеров

Ещё несколько лет назад 8-разрядные микроконтроллеры были вне

конкуренции по уровню функциональной насыщенности. Многие представители семейств 8051, PIC, AVR давали разработчику возможность создать всю систему практически на единственном кристалле. В то же время 32-разрядные микропроцессоры представлялись некими монстрами. Для создания законченных систем на их основе требовалось довольно много внешних компонентов: тактовые генераторы, мониторы питания, микросхемы памяти и устройства ввода-вывода. Так было до тех пор, пока в дело не вступили компании – лидеры рынка 8-битных микроконтроллеров: Atmel, Philips, STMicroelectronics и другие. Сегодня уже можно с уверенностью сказать, что 32-разрядные микроконтроллеры не только не уступают, но зачастую и превосходят своих 8-разрядных собратьев по уровню функциональной интеграции. В качестве примера рассмотрим микроконтроллер LPC2148 компании NXP (Philips). Он имеет следующие основные характеристики и функциональные возможности:

- ядро ARM7TDMI-S с поддержкой 16-разрядного набора инструкций Thumb;
- максимальная тактовая частота – 60 МГц;

- FLASH объёмом 512 Кб со встроенной 128-битной шиной для ускорения доступа;
- внутрисистемное программирование FLASH (ISP/IAP). Полное стирание за 400 мс, запись 256 байт за 1 мс;
- ОЗУ объёмом 40 Кб;
- встроенные ресурсы JTAG эмулятора и трассировщика;
- интерфейс USB 2.0 Full Speed (12 МГц), 8 Кб ОЗУ для данных USB с доступом через канал прямого доступа к памяти (DMA);
- два десятиразрядных АЦП со временем преобразования 2,44 мкс на канал, 14 аналоговых входов;
- десятиразрядный ЦАП;
- два 32-разрядных таймера/счётчика (по четыре канала выборки и сравнения), модуль ШИМ (6 каналов), сторожевой таймер (WDT);
- часы реального времени с независимым питанием и тактовой частотой 32 кГц;
- универсальные последовательные каналы: два UART, два I2C, SPI и SSP с буферированием и настройкой длины формата данных;
- векторный контроллер прерываний с программируемыми приоритетами и адресами векторов;
- встроенный умножитель частоты до 60 МГц с периодом стабилизации 100 мкс;
- интегрированный генератор для работы с кварцами 1...25 МГц;
- режимы энергосбережения Idle и Power-down;
- индивидуальное управление питанием периферийных устройств для оптимизации потребляемой энергии;

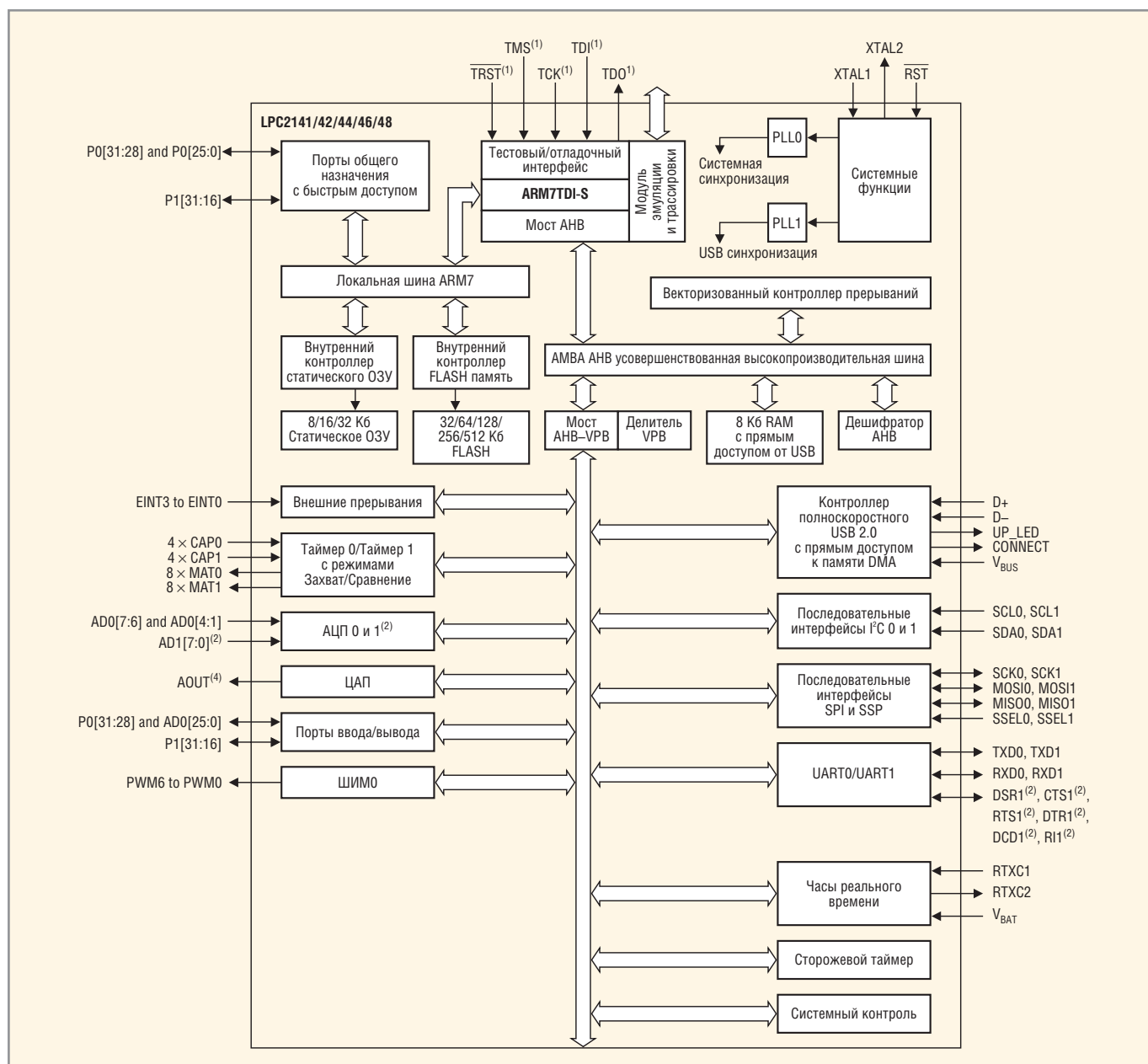


Рис. 3. Микроконтроллер LPC2148 компании NXP (Philips)

- детектор пропадания напряжения питания (BOD);
- встроенная система сброса по включению питания;
- единственный источник питания $3,3 \text{ В} \pm 10\%$;
- выводы, толерантные к напряжению 5 В.

Микросхема LPC2148 была выбрана в качестве примера достаточно произвольно, но, тем не менее, она даёт хорошее представление о функциональных возможностях современных 32-разрядных микроконтроллеров. Даже при беглом взгляде на структурную схему микроконтроллера, приведённую на рис. 3, видно, что он до боли напоминает привычный набор периферии, характерный для большинства 8-разрядных микроконтроллеров из

семейств 8051, AVR, PIC, HC08. Но редко в каком из 8-битных устройств можно обнаружить все перечисленные выше возможности, реализованные в одной микросхеме. Дополнительным преимуществом микроконтроллеров на базе ядра ARM перед такими семействами, как AVR, PIC, MSP430, является отсутствие монополии в разработке и производстве его разновидностей. Очевидно, что ни одна компания-производитель не способна предложить рынку столько вариантов микроконтроллеров, сколько могут это сделать более 60 компаний, уже приобретших лицензию на ядро ARM.

Фактически став промышленным стандартом, ядро ARM обеспечивает разработчику богатый выбор устройств с самыми широкими функци-

ональными возможностями, которые непрерывно расширяются благодаря вовлечению в процесс разработки и производства всё новых и новых полупроводниковых компаний.

Стоимость микроконтроллера

Буквально несколько лет назад понятия «32-разрядный микроконтроллер» и «низкая стоимость» были абсолютно несовместимыми. Цена на 32-разрядные устройства была на порядок больше по сравнению с ценой на 8-разрядные. Первую «брешь» в представлении о том, что 32-разрядные микроконтроллеры пригодны только для дорогих систем, «пробила» компания Atmel. В 2004 г. она выпустила на рынок семейство микроконтроллеров AT91SAM7S, цены на

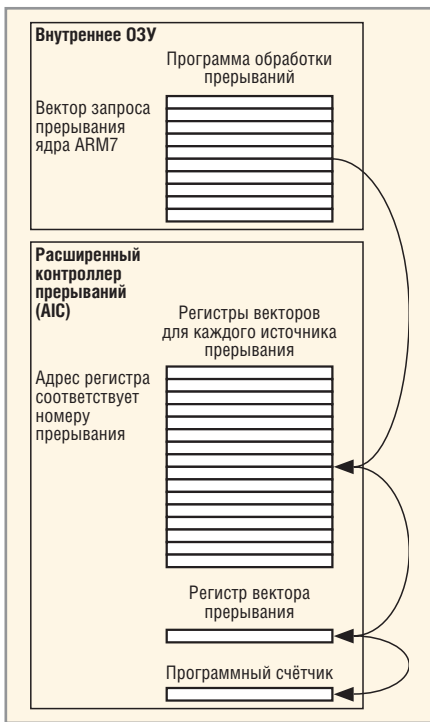


Рис. 4. Работа векторного контроллера прерываний

которые начинались от нескольких долларов, т.е. напрямую конкурировали с ценами на 8-разрядные микросхемы. В 2005 г. компания Philips анонсировала выпуск микроконтроллеров LPC2101/02/03, нацеленных уже на рынок так называемых долларовых приложений – в оптовых количествах цена микроконтроллера LPC2101 составляет немногим больше одного доллара. В 2006 г. компания Luminary выпустила серию Stellaris LM3S1xx, которая имеет цену уже в пределах одного доллара. Отныне разница в стоимости уже не является определяющим фактором при выборе между 8- и 32-разрядным микроконтроллером. Цены на современные 32-разрядные микроконтроллеры вполне сопоставимы с ценами их 8-разрядных конкурентов.

Требования к производительности системы и проблемы реального времени

Постоянное развитие рынка предъявляет растущие требования к встраиваемым системам. К примеру, обычная задача микроконтроллера, управляющего стиральной машиной, до недавнего времени сводилась к функциям конечного автомата на несколько состояний, управляемого небольшим количеством кнопок и индицирующего состояние устройства на нескольких светодиодах. Микро-

контроллеры в современных стиральных машинах уже должны напрямую управлять электроприводом, минимизируя расход электроэнергии, контролировать состав химикатов для уменьшения вредных выбросов, выводить информацию на графический дисплей и поддерживать сетевые коммуникации для общения со службами сервиса. Для решения совокупности подобных задач производительности 8-разрядных микроконтроллеров уже может быть недостаточно.

Очевидно, что по вычислительной мощности 32-разрядные микропроцессоры находятся вне конкуренции. Однако при выборе микроконтроллера для системы реального времени принципиально важна скорость его отклика на внешние события и, кроме того, детерминированность этой реакции – то есть время отклика должно находиться в достаточно узких временных пределах, независимо от состояния микроконтроллера в момент возникновения внешнего события. Удовлетворяют ли этим требованиям микроконтроллеры с ядром ARM?

Наибольший вклад в неопределённость реакции вносят такие элементы архитектуры, как сверхоперативная промежуточная память (кэш). Кэш повышает интегральную производительность микроконтроллера за счёт фоновой предварительной выборки инструкций и данных из относительно медленной памяти (например, FLASH) в очень быструю сверхоперативную память, способную работать на одной частоте с ядром микроконтроллера. Однако, в случае возникновения внешнего события в момент, когда кэш не содержит необходимой части программы обработки, реакция на событие может стать очень медленной, а само время реакции трудно прогнозируемым. Поэтому для систем с такими требованиями наибольшее распространение получили микроконтроллеры с ядрами ARM7TDMI, ARM7TDMI-S, которые не имеют кэш-памяти и по реакции на прерывания не отличаются от обычных 8-разрядных микроконтроллеров.

Для максимального удовлетворения требований реального времени разработчики микроконтроллеров предпринимают дополнительные меры повышения эффективности своих систем. Проиллюстрируем некоторые такие решения на примере

микроконтроллера AT91SAM7S компании Atmel.

Векторный контроллер прерываний

Ядро ARM7 имеет всего два внешних входа прерывания. Для систем реального времени этого явно недостаточно. Поэтому в состав микроконтроллера AT91SAM7S вводится дополнительный аппаратный модуль, называемый векторным контроллером прерываний, который обеспечивает переход на адрес обработки прерывания одного из 32 источников прерывания с помощью единственной команды перехода. Смысл его работы сводится к тому, что в состав контроллера входят 32 регистра адреса, в которые предварительно записываются адреса подпрограмм обработки для каждого из 32 возможных источников прерывания. При возникновении прерывания ядро ARM вызывает передачу управления на адрес, соответствующий внешнему прерыванию. По этому адресу располагается инструкция, которая считывает данные из контроллера прерываний, а контроллер в этот момент подставляет значение именно того регистра адреса, который соответствует возникшему прерыванию. Таким образом, микроконтроллер переходит сразу на программу обработки нужного прерывания, не используя ни единой дополнительной инструкции. Рисунок 4 иллюстрирует работу векторного контроллера прерываний.

Оптимизация доступа к портам ввода-вывода

Характерной задачей встраиваемых систем является манипулирование битами на портах ввода-вывода. Процедура изменения бита обычно подразумевает чтение всего слова, наложение битовой маски и запись нового значения слова обратно в порт. В RISC-процессорах такая операция производится одной командой, выполняющей неразрывный цикл «чтение–модификация–запись». Поскольку в архитектуре ARM нет команд, обеспечивающих такой цикл при обращении к памяти, манипуляция с битами может стать проблемой. При наличии многозадачности между моментами первоначального значения порта и записью его модифицированного значения может произойти прерывание, в ре-

зультате которого изменится текущее состояние порта. Для исключения такой ситуации необходимо запрещать прерывания перед каждой битовой процедурой. В этом случае потребуются выполнить такую последовательность инструкций:

```
MRS    r0,CPSR
;Запрет прерываний на уровне ядра
ORR    r0,r0,#(I_BIT OR _F_BIT)
MSR    CPSR,r0

LDR    r0,=PORT_ADDR
;Загрузка указателя
;адресом порта PORT_ADDR
LDR    r1,[r0]
;Чтение значения порта
ORR    r1,r1,#80
;Наложение маски
STR    r1,[r0]
;Запись результата в порт

MRS    r0,CPSR
;Разрешение прерываний
BIC    r0,r0,#(I_BIT OR _F_BIT)
MSR    CPSR,r0
```

Очевидно, что такая процедура чрезвычайно громоздка и медлительна. Поэтому для повышения эффективности работы с портами в ARM-микроконтроллерах применяется необычная для 8-разрядных микроконтроллеров структура порта. Каждый порт представлен в виде двух виртуальных регистров, один из которых служит только для установки битов, а другой – только для их сброса. В результате отпадает необходимость в предварительном чтении порта, запрете прерываний и вся процедура модификации бита выполняется одной инструкцией. Последовательность инструкций для этого случая выглядит таким образом:

```
LDR    r0,=PORT_ADDR
;Загрузка указателя
;адресом порта PORT_ADDR
MOV    r1,#80
;Загрузка маски бита в регистр
STR    r1,[r0,#PORT_SET_offset]
;Установка бита
;в регистре «установки», где
;PORT_SET_offset - смещение
;адреса регистра
;относительно PORT_ADDR
```

Вывод: микроконтроллеры с ядром ARM разрабатывались с учётом требований, предъявляемых системами

Таблица 4. Режимы энергопотребления различных микроконтроллеров согласно исследованию университета Беркли (США)

Производитель	Микроконтроллер	RAM, Кб	Flash, Кб	Активный режим, мА	Спящий режим, мА	Год выпуска
Atmel	AT90LS8535	0,5	8	5	15	1998
	Mega 128	4	128	8	20	2001
	Mega165/325/645	4	64	2,5	2	2004
General Instruments	PIC	0,025	0,5	19	1	1975
Microchip	PIC Modern	4	128	2,2	1	2002
Intel	4004 4-bit	0,625	4	30	N/A	1971
	8051 8-bit Classic	0,5	32	30	5	1995
	8051 16-bit	1	16	45	10	1996
Philips	80C51 16-bit	2	60	15	3	2000
Motorola	HC05	0,5	32	6,6	90	1988
	HC08	2	32	8	100	1993
	HCS08	4	60	6,5	1	2003
Texas Instruments	TSS400 4-bit	0,03	1	15	12	1974
	MSP430F14x 16-bit	2	60	1,5	1	2000
	MSP430F16x 16-bit	10	48	2	1	2004
Atmel	AT91 ARM Thumb	256	1024	38	160	2004
Intel	XScale PXA27X	256	N/A	39	574	2004

Таблица 5. Дополнительные данные по режимам энергосбережения

Производитель	Микроконтроллер	RAM, Кб	Flash, Кб	Активный режим, мА	Спящий режим, пА	Год выпуска
NXP (Philips)	LPC2103, 10/70 МГц	8	32	7/41	7	2005
NXP (Philips)	LPC2148, 10/60 МГц	40	512	15/40	100	2005
Atmel	AT91SAM7S32/512, 55 МГц	64	512	60	60	2005

реального времени. Потенциальные проблемы эффективности выполнения программы, связанные с особенностями RISC-архитектуры, успешно решаются за счёт использования оригинальных аппаратных решений на уровне периферийных модулей.

Требования к энергопотреблению, режимы энергосбережения

Интересное исследование, касающееся режимов энергопотребления различных микроконтроллеров, было проведено группой разработчиков из университета Беркли (США) [1]. В их задачу входила разработка беспроводного датчика для исследовательских сетей. Автономное питание датчика накладывало жёсткие требования к энергопотреблению использованных микроконтроллеров. В табл. 4 приведены некоторые результаты этого исследования.

Более свежие данные по микроконтроллерам с ядром ARM7 представлены в табл. 5.

Данные, приведённые в таблицах, можно рассматривать только как ориентировочные, так как реальное потребление микроконтроллера зависит от комбинации многих факторов, которые трудно учитывать при анализе. Такими факторами являются: рабочая тактовая частота, объём памяти FLASH и ОЗУ, количество задействованных периферийных уст-

ройств, нагрузка на выходах портов. В качестве примера влияния компонентов системы на общее потребление в табл. 6 приведены данные из спецификации микроконтроллеров AT91SAM7S32/512 компании Atmel.

Однако, анализируя даже такие ориентировочные сведения, можно заметить основные тенденции: по мере снижения технологических норм производства полупроводников разрыв в потреблении энергии между 8/16-разрядными и 32-разрядным микропроцессорами быстро уменьшается. На сегодняшний день современные 32-разрядные микроконтроллеры с ядром ARM демонстрируют результаты, не уступающие популярным 8-битным микроконтроллерам из семейств 8051, HC08 и

Таблица 6. Влияние компонентов системы на потребление микроконтроллеров AT91SAM7S32/512

Периферия	Потребление, мА/МГц (тип.)
PIU-контроллер	12
USART	28
UDP	20
PWM	16
TWI	5
SPI	6
ssc	32
Таймеры	6
ARM7TDMI	160
Системная периферия (AT91SAM7S512/256/128)	190
Системная периферия (AT91SAM7S64/321/32)	140

даже таким относительно свежим изданием, как ATmega 128. А проигрывают они только современным 8- и 16-разрядным микроконтроллерам, ли-

дером среди которых является семейство MSP430, специально разработанное для приложений, требующих минимального потребления.

Вывод: при принятии решения о замене классических 8-разрядных микроконтроллеров, микроконтроллеры ARM можно рассматривать как уст-

Таблица 7. Справочные данные на микроконтроллеры компании NXP

Микро-контроллер	Память, Кб				Таймеры		Интерфейсы					Число каналов АЦП (10 бит)	Число каналов ЦАП (10 бит)	Число I/O-выводов	Прерывания (внешн./уровни)	Внешняя шина	PLL	Частота, МГц (макс.)		Напряжение, В		Температурное исполнение	Тип корпуса
	FLASH	RAM	ISP/IAP	Защита памяти	Число таймеров*	Число PWM-каналов	USB	UART	IC	CAN	SPI							CPU	I/O				
Семейство LPC2800																							
LPC2888	1024	64	+/+		4		1(1)	1(2)	1(3)			5		79	30/16	+	+	60	1,8	3,3	F	TBGA180	
Семейство LPC2200																							
LPC2294	256	16	+/+		4	6		2	1	4	2	8		112	25(4)/16		+	60	1,8	3,3	H,J	LQFP144	
LPC2292	256	16	+/+		4	6		2	1	2	2	8		112	25(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP144	
LPC2290		16			4	6		2	1	2	2	8		76	25(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP144, TBGA144	
LPC2220		64			4	6		2	1		2	8		76	16(4)/16		+	75	1,8	3,3	F	LQFP144, TBGA144	
LPC2214	256	16	+/+		4	6		2	1		2	8		112	16(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP144	
LPC2212	128	16	+/+		4	6		2	1		2	8		112	16(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP144	
LPC2210		16			4	6		2	1		2	8		76	16(4)/16	+		60	1,8	3,3	F	LQFP144	
Семейство LPC2100																							
LPC2194	256	16	+/+	+	4	6		2	1	4	2	4		46	25(4)/16		+	60	1,8	3,3	H,J	LQFP64	
LPC2148	512	40	+/+	+	4	6	1	2	2		2	8+6	1	45	23(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2146	256	40	+/+	+	4	6	1	2	2		2	8+6	1	45	23(4)/16			60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2144	128	16	+/+	+	4	6	1	2	2		2	8+6	1	45	23(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2142	64	16	+/+	+	4	6	1	2	2		2	6	1	45	23(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2141	32	8	+/+	+	4	6	1	2	2		2	6		45	23(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2138	512	32	+/+	+	4	6		2	2		2	2x8	1	47	22(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64, HVQFN64	
LPC2136	256	32	+/+	+	4	6		2	2		2	2x8	1	47	22(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2134	128	16	+/+	+	4	6		2	2		2	2x8	1	47	22(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2132	64	16	+/+	+	4	6		2	2		2	8	1	47	22(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64, HVQFN64	
LPC2131	32	8	+/+	+	4	6		2	2		2	8		47	22(4)/16		+	60	3,3	3,3	F	LQFP64	
LPC2129	256	16	+/+	+	4	6		2	1	2	2	4		46	18(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP64	
LPC2119	128	16	+/+	+	4	6		2	1	2	2	4		46	18(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP64	
LPC2124	256	16	+/+	+	4	6		2	1		2	4		46	16(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP64, HVQFN64	
LPC2114	128	16	+/+	+	4	6		2	1		2	4		46	16(4)/16		+	60	1,8	3,3	F	LQFP64	
LPC2106	128	64	+/+		4	6		2	1		1			32	16(3)/16		+	60	1,8	3,3	B,F	LQFP48	
LPC2105	128	32	+/+		4	6		2	1		1			32	16(3)/16		+	60	1,8	3,3	B	LQFP48	
LPC2104	128	16	+/+		4	6		2	1		1			32	16(3)/16		+	60	1,8	3,3	B	LQFP48	
LPC2103	32	8	+/+	+	6	14**		2	2		2	8		32	19(3)/16			70	1,8	3,3	F	LQFP48	
LPC2102	16	4	+/+		6	14**		2	2		2	8		32	19(3)/16		+	70	1,8	3,3	F	LQFP48	
LPC2101	8	2	+/+	+	6	14**		2	2		2	8		32	19(3)/16		+	70	1,8	3,3	F	LQFP48	

*Включая WatchDog-таймер и часы реального времени.

**Используются таймеры 0 – 3.

Таблица 8. Справочные данные на микроконтроллеры компании Atmel

Микро-контроллер	Flash, Кб	SRAM, Кб	Ethernet (MAC 10/100)	CAN	USB	UART	АЦП (10 бит)	Частота, МГц	PWM, каналов	I/O	PDC, каналов	SDRAM	Таймеров (16 бит)	RTT	SPI	SSC	TWI	MCI	Резонаторов	MMU/MPU	Тип корпуса	
AT91SAM7A1	-	4	-	1	-	3	8	40	4	49	11	-	9	-	1	-	-	-	2	-	LQFP 144	
AT91SAM7A2	-	16	-	4	-	2	16	30	4	57	10	-	10	-	1	-	-	-	2	-	LQFP 176	
AT91SAM7A3	256	32	-	2	1	4	16	60	8	62	19	-	9	1	2	2	1	1	1	MPU	LQFP 100	
AT91SAM7S128	128	32	-	-	1	3	8	55	4	32	11	-	3	1	1	1	1	1	-	1	-	QFN 64
AT91SAM7S256	256	64	-	-	1	3	8	55	4	32	11	-	3	1	1	1	1	1	-	1	-	LQFP 64
AT91SAM7S32	32	8	-	-	-	2	8	55	4	21	9	-	3	1	1	1	1	1	-	1	-	LQFP 48
AT91SAM7S321	32	8	-	-	1	2	8	55	4	32	11	-	3	1	1	1	1	1	-	1	-	QFN 64
AT91SAM7S64	64	16	-	-	1	3	8	55	4	32	11	-	3	1	1	1	1	1	-	1	-	LQFP 64
AT91SAM7SE256	256	32	-	-	1	3	8	48	4	88	11	1	3	1	1	1	1	1	-	1	MPU	LBGA 144
AT91SAM7SE32	32	8	-	-	1	3	8	48	4	32	11	1	3	1	1	1	1	1	-	1	MPU	LBGA 144
AT91SAM7SE512	512	32	-	-	1	3	8	48	4	88	11	1	3	1	1	1	1	1	-	1	MPU	LBGA 144
AT91SAM7X128	128	32	1	1	1	3	8	55	4	60	11	-	3	1	2	1	1	1	-	1	-	LQFP 100
AT91SAM7X256	256	64	1	1	1	3	8	55	4	60	11	-	3	1	2	1	1	1	-	1	-	LQFP 100
AT91SAM7XC128	128	32	1	1	1	3	8	55	4	60	11	-	3	1	2	1	1	1	-	1	-	LQFP 100
AT91SAM7XC256	256	64	1	1	1	3	8	55	4	60	11	-	3	1	2	1	1	1	-	1	-	LQFP 100

Таблица 9. Справочные данные на микроконтроллеры компании STMicroelectronics

Микроконтроллер	Память, Кб		Защита памяти	Входы АЦП, число × разрядов	Таймеры		Интерфейсы	Число входов/выходов (силовых)	Питание, В	Тип корпуса	Примечания
	FLASH	RAM			число × разрядов (IC/OC/PWM)	Другие					
STR711FR0	64+16	16		4 × 12		WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/USB	30 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	
STR712FR0	64+16	16		4 × 12	4 × 16 (5/5/3)	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN	32 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	50 МГц, 16 Кб data flash
STR715FR0	64+16	16		4 × 12		WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC	32 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	
STR751FR0	64+16	16		11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/USB	38 (7)	3,0...3,6	LQFP64	
STR752FR0	64+16	16		11 × 10	5 × 16 (5/5/11)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64	60 МГц, 16 Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR755FR0	64+16	16		11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64	
STR711FR1	128+16	32		4 × 12	4 × 16	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/USB	30 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	50 МГц, 16 Кб data flash
STR712FR1	128+16	32	+	4 × 12	(5/5/3)	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN	32 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	
STR751FR1	128+16	16	+	11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/USB	38 (7)	3,0...3,6	LQFP64	60 МГц, 16Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR752FR1	128+16	16	+	11 × 10	5 × 16 (5/5/11)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64	
STR755FR1	128+16	16	+	11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64	
STR711FR2	256+16	64	+	4 × 12	4 × 16	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/USB	30 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	50 МГц, 16 Кб data flash
STR712FR2	256+16	64	+	4 × 12	(5/5/3)	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN	32 (0)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	
STR751FR2	256+16	16	+	11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/USB	38 (7)	3,0...3,6	LQFP64/BGA64	60 МГц, 16Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR752FR2	256+16	16	+	11 × 10	5 × 16 (6/6/12)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64/BGA64	
STR755FR2	256+16	16	+	11 × 10		WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	38 (7)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP64/BGA64	
STR731FV0	64	16	+	12 × 10	15 × 10	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART/3xCAN	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	36 МГц, 16xDMA channels, on-chip RC oscillator
STR736FV0	64	16	+	12 × 10	(12/12/12)	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	
STR750FV0	64+16	16	+	16 × 10	5 × 16	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN/USB	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5 (без USB)	LQFP100	60 МГц, 16Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR755FV0	64+16	16	+	16 × 10	(6/6/12)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP100	
STR731FV1	128	16	+	12 × 10	15 × 16	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART/3xCAN	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	36 МГц, 16xDMA , RC-генератор
STR736FV1	128	16	+	12 × 10	(12/12/12)	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	
STR750FV1	128+16	16		16 × 10	15 × 16	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN/USB	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5 (без USB)	LQFP100/BGA100	60 МГц, 16Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR755FV1	128+16	16		16 × 10	(6/6/12)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP100	
STR731FV2	256	16		12 × 10	15 × 16	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART/3xCAN	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	36 МГц, 16xDMA channels, RC-генератор
STR736FV2	256	16	+	12 × 10	(12/12/12)	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART	72 (0)	4,5...5,5	LQFP100	
STR750FV2	256+16	16		16 × 10	5 × 16	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART/CAN/USB	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5 (без USB)	LQFP100/BGA100	60 МГц, 16Кб data flash, 4xDMA, AWU, SMI, RC-генератор, ШИМ для управления электродвигателем
STR755FV2	256+16	16	+	16 × 10	(6/6/12)	WDG, RTC	2xSSP/I ² C/3xHS-UART	72 (9)	3,0...3,6 или 4,5...5,5	LQFP100/BGA100	
STR710RZ		64		4 × 12	4 × 16	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN/USB	48 (8)	3,0...3,6	LFBGA144/LQFP144	50 МГц, интерфейс внешней памяти
STR710FZ1	128+16	32		4 × 12	(5/5/3)	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN/USB	48 (8)	3,0...3,6	LFBGA144/LQFP144	50 МГц, 16 Кб data flash, интерфейс внешней памяти
STR730FZ1	128	16		16 × 10	19 × 16	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART/3xCAN	112 (0)	4,5...5,5	LFBGA144/LQFP144	36 МГц, 16xDMA channels, RC-генератор
STR735FZ1	128	16		16 × 10	(20/20/16)	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART	112 (0)	4,5...5,5	LFBGA144/LQFP144	
STR710FZ2	256+16	64		4 × 12	4 × 16 (5/5/3)	WDG, RTC	2xSPI/2xI ² C/4xUART/HDL/SC/CAN/USB	48 (8)	3,0...3,6	LFBGA144/LQFP144	50 МГц, 16 Кб data flash, интерфейс внешней памяти
STR730FZ2	256	16		16 × 10	19 × 16	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART/3xCAN	112 (0)	4,5...5,5	LFBGA144/LQFP144	36 МГц, 16xDMA channels, RC-генератор
STR735FZ2	256	16		16 × 10	(20/20/16)	WDG, RTC	3xSPI/2xI ² C/4xUART	112 (0)	4,5...5,5	LFBGA144/LQFP144	

ройства с аналогичными параметрами энергопотребления. Рассматривать другие варианты в качестве альтернативы имеет смысл только при чрезвычайно жёстких требованиях к энергопотреблению. Для таких случаев можно подобрать 8- или 16-разрядный микроконтроллер, заметно превосходящий по показателю энергопотребления любой из микроконтроллеров ARM. Таким образом, требования к экономии энергии являются

наиболее критичными по отношению к 32-разрядным микроконтроллерам.

ПОПУЛЯРНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ С ЯДРОМ ARM7 ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Микроконтроллеры компании NXP (бывшая Philips)

Серия микроконтроллеров LPC2000 разработана на базе ядра ARM7TDMI-S.

Микроконтроллеры способны работать на частотах до 75 МГц, сочетая высокую производительность и низкое энергопотребление (см. табл. 7). Микросхемы имеют «на борту» память FLASH до 1 Мб, ОЗУ до 64 Кб, широкий набор периферийных устройств: всевозможные последовательные каналы, включая USB и CAN, десятиразрядные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, встроенные умножители

частоты, часы реального времени, таймеры, универсальные порты ввода-вывода. Контроллеры поставляются в различных вариантах корпусов – от компактных 48-выводных для систем с памятью на кристалле, до мощных 144 – 180-выводных с возможностью доступа к внешней шине.

Микроконтроллеры компании Atmel

Серия микроконтроллеров SAM7 разработана на базе ядра ARM7TDMI. Микроконтроллеры Atmel напрямую конкурируют с семейством LPC2000 компании NXP (Philips). Они имеют близкий по составу набор периферийных устройств, FLASH и ОЗУ. Среди отличительных особенностей можно выделить наличие блока прямого доступа к памяти (DMA), значительно ускоряющего обмен данными между периферийными устройствами и памятью, наличие расширенного контроллера прерываний, бога-

тый выбор коммуникационных каналов, среди которых USB, Ethernet, SPI, USART и т.д. (см. табл. 8).

Микроконтроллеры компании STMicroelectronics

Микроконтроллеры на базе ядра ARM7TDMI компании STMicroelectronics представлены сериями STR710, STR730, STR750 (см. табл. 9). Они имеют богатый выбор периферийных устройств, FLASH и оперативной памяти. В качестве особенностей можно выделить развитые коммуникационные возможности, 12-разрядные аналого-цифровые преобразователи, толерантность портов ввода-вывода к напряжению 5 В.

Микроконтроллеры компании Texas Instruments

Семейство TMS470 разработано на базе ядра ARM7TDMI. Характерной особенностью этих микроконтроллеров является наличие в составе периферии так называемого супертай-

мера (High-end Timer – HET). Этот таймер представляет собой аппаратный сопроцессор, который имеет собственный набор инструкций, позволяющий управлять 32 линиями ввода-вывода микроконтроллера независимо от состояния ядра ARM7. Контроллером поддерживаются функции выборки, сравнения, широтно-импульсной модуляции и общего ввода-вывода (см. табл. 10). В остальном представители семейства TMS470 аналогичны по своим функциональным возможностям микроконтроллерам других компаний.

Микроконтроллеры компании Analog Devices

Микроконтроллеры на базе ядра ARM7TDMI компании Analog Devices представлены семейством MicroConverter®. Компания традиционно специализируется на прецизионном аналого-цифровом и цифро-аналогом преобразовании сигналов, поэтому основной особенностью ука-

Таблица 10. Справочные данные на микроконтроллеры компании Texas Instruments

Микроконтроллер	Частота, МГц	Память			Периферия				Температурный диапазон, °С	I/O 3,3 В	LQFP (выводы)
		Flash/ROM, Кб	RAM, Кб	High-End-таймер	Mib АЦП, канал/бит	SPI/SCI	CAN	Дополнительно			
TMS470R1A64 [1]	48	64/64	8	13	8/10	2/2	с	--	-40...+125	40	80
TMS470R1A128 [1]	48	128/128	8	16	16/10	2/2	с	--	-40...+125	50	100
TMS470R1A256 [1]	48	256/256	12	16	16/10	2/2	с	--	-40...+125	50	100
TMS470R1A288	48	288	16	12	12/10	2/2	2xSCC	MSM, 3x I ² C, DMA, EBM	-40...+125	93	100/144
TMS470R1A384	48	384	32	12	12/10	2/2	2xSCC	3x I ² C, DMA, EBM	-40...+125	94	100/144
TMS470R1B512	60	512	32	32	16/10	3/2	2xHECC	DMA	-40...+125	87	144
TMS470R1B768	60	768	48	32	16/10	5/2	3xHECC	DMA	-40...+125	87	144
TMS470R1B1M	60	1024	64	12	12/10	2/3	2xHECC	5xDMA, EBM, MSM	-40...+85	93	144

Таблица 11. Справочные данные на микроконтроллеры компании Analog Devices

Микроконтроллер	Быстродействие, MIPS	Flash, Кб	SRAM, байт	GPIO, выводы	Разрешение, бит	Скорость АЦП, KSPS	АЦП, каналов	Выходов ЦАП (12 бит)	Прочее
ADUC7019	40	62	8192	14	12	1000	5	3	-
ADUC7020	40	62	8192	14	12	1000	5	4	-
ADUC7021	40	62	8192	13	12	1000	8	2	-
ADUC7022	40	62	8192	13	12	1000	10	-	-
ADUC7024	40	62	8192	30	12	1000	10	2	ШИМ
ADUC7025	40	62	8192	30	12	1000	12	-	ШИМ
ADUC7026	40	62	8192	40	12	1000	12	4	ШИМ
ADUC7027	40	62	8192	40	12	1000	16	-	ШИМ
ADUC7128	40	126	8192	28	12	1000	10	-	ЦАП 10 бит, ШИМ

Таблица 12. Справочные данные на микроконтроллеры компании OKI

Микроконтроллер	Ядро	Напряжение (Vdd), В	Частота, МГц	Flash, Кб	RAM, Кб	Периферия							Тип корпуса	
						Таймеры	GPIO	АЦП	USB		I ² C	UART		SSIO
ML675050	ARM7 32-бит MCU	3,3/1,5	64	-	До 30	+	62	+	USB 2.0 Host, USB 2.0 Device V		+	+	+	176 LQFP, 176 LFBGA
ML6704050	ARM7 32-бит MCU	3,3/2,5; 2,5/2,5	33,33	64	16	+	108	+	-		+	+	+	144 LQFP
ML6704051	ARM7 32-бит MCU	3,3/2,5; 2,5/2,5	33,33	128	16	+	108	+	-		+	+	+	144 LQFP
ML6704060	ARM7 32-бит MCU	3,3/2,5; 2,5/2,5	33,33	64	16	+	40	+	-		+	+	+	64 WCSP, 64 TQFP, 84 LFBGA
ML6704061	ARM7 32-бит MCU	3,3/2,5; 2,5/2,5	33,33	128	16	+	40	+	-		+	+	+	64 WCSP, 64 TQFP, 84 LFBGA

занных микроконтроллеров является наличие 12-разрядных АЦП и ЦАП в составе периферийных устройств (см. табл. 11).

Микроконтроллеры компании OKI

Компания предлагает своё семейство микроконтроллеров общего назначения на базе ядра ARM7/TDMI. Эти микроконтроллеры обладают достаточно развитым набором функциональных возможностей. Они не име-

ют каких-либо выдающихся характеристик, но являются дополнительным примером высокой популярности ядра ARM7 на мировом рынке микроконтроллеров (см. табл. 12).

ЛИТЕРАТУРА

1. Polastre J., Szweczyk R., Culler D. Computer Science Department. Univ. of California, Berkeley. Berkeley, CA 94720. <http://www.moteiv.com/products/docs/an002-telos.pdf>.

2. *Староверов КС.* Сравнительный анализ микроконтроллеров с ядром ARM. star@set-micro.com.
3. *Wilbrink J.* Facilitation the Migration from 8-bit to 32-bit Microcontrollers. ECE, February, 2005.
4. <http://www.arm.com>,
<http://www.nxp.com>,
<http://www.atmel.com>, <http://mcu.st.com>,
<http://www.analog.com>,
<http://www.ti.com>,
<http://www2.okisemi.com>.



Новости мира News of the World Новости мира

Serial EEPROM от STMicroelectronics

Компания STMicroelectronics производит M24M01, элемент памяти Serial EEPROM ёмкостью 1 Мбит. В соответствии со спецификацией I²C, элемент M24M01 поддерживает тактовые частоты от 100 до 400 кГц и пригоден для диапазона рабочих напряжений от 1,8 до 5,5 В. При организации 128 Кбит × 8 компонент поддерживает побайтовый и постраничный режимы записи с временем записи 256 байтов менее чем за 5 мс. Срок хранения данных более 40 лет, а количество циклов записи превы-



шает миллион. Температурный рабочий диапазон составляет -40...+85°C. Микросхема M24M01 уже сейчас поставляется образцами в корпусах SO8N и SO8W, отвечающих требованиям RoHS. Начало массового производства запланировано на 2007 г. Уже вскоре ST намеревается выпускать аналогичный продукт, а именно 1-Мбит EEPROM с SPI-шиной.

www.st.com

Трёхосный цифровой акселерометр

Акселерометр SMB380 фирмы Bosch Sensortec предназначен для таких приложений, как интерфейсы человек-машина, системы определения состояния свободного падения, а также для мобильных маломощных приложений. Размеры составляют 3 × 3 × 0,9 мм. С помощью этого акселерометра осуществляется определение профиля движения системы. Помимо все-

го акселерометр с помощью логики прерываний системы вызывает её соответствующую реакцию. Логика датчика позволяет при этом с помощью программируемого Interrupt-вывода так конфигурировать его, что будут детектироваться высокие или низкие пороговые значения ускорения или измеряться очень медленные движения. Элемент генерирует цифровой 10-разрядный выходной сигнал, выдаваемый через последовательный интерфейс, который может конфигурироваться в режиме I²C или SPI. Дополнительно имеется сигнал прерывания, с помощью которого могут устанавливаться диапазоны измерений ±2g, ±4g и ±8g. Потребление SMB380 составляет 1 мкА в режиме Standby и менее чем 200 мкА в рабочем режиме.

www.bosch-sensortec.com

FPGA в корпусе Micro-BGA

Компания QuickLogic Europa поставляет элементы FPGA в корпусах BGA размером 6 × 6 мм и 8 × 8 мм. Сюда относятся серии продуктов FPGA PolarPro и Eclipse II. Элементы серии PolarPro в корпусах BGA 8 × 8 мм содержат от 75 000 до 300 000 логических вентилях. Элементы серии Eclipse II в корпусах BGA могут поставляться в двух вариантах: элемент с 190 000 вентилях в корпусе 8 × 8 мм и элемент с 64 000 вентилях в корпусе 6 × 6 мм.



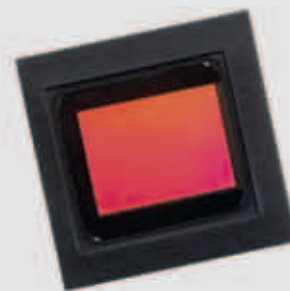
Элементы PolarPro и Eclipse II в корпусах BGA поддерживаются программным обеспечением разработки QuickWorks 9.8.2, а также System General Programmiersoftware.

<http://www.ru.channel-e.de>

Новое поколение 1,75-микронных сенсоров от Micron

Компания Micron Technology выпустила новую линейку КМОП-видеосенсоров, предназначенных для использования в мобильных телефонах. Сенсоры являются вторым поколением решений с диаметром пикселя 1,75 микрон, пришедшими на смену 2,2-микронным образцам. Основное преимущество 1,75-микронной технологии – небольшой размер и меньшее энергопотребление изготавливаемых сенсоров.

Ожидается, что указанные сенсоры будут поставляться на рынок в 1,3-, 3- или 5-мегапиксельных вариантах для использования в моделях сотовых телефонов бюджетного, mainstream- и high-end-классов соответственно. Ведущая 5-мегапиксельная модель MT9P012 позволяет снимать видео с разрешением 720 точек и скоростью 60 кадров/с или с разрешением 1080 точек и скоростью до 30 кадров/с. Трёхмегапиксельная модель MT9T013 обладает стан-



дартными для мобильных сенсоров размерами 1/4 дюйма и способна снимать видео в VGA-разрешении со скоростью до 30 кадров/с. Основным достоинством 1,3-мегапиксельного сенсора MT9M113 являются его малые размеры – всего 1/6 дюйма, что позволяет использовать его в набирающих популярность ультратонких мобильных аппаратах. 5- и 3-мегапиксельные сенсоры начнут отгружаться во втором квартале 2007 г., 1,3-мегапиксельные – уже в конце первого квартала.

eetimes.com