

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ, МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ, МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ...

## ВЕЗДЕ, ГДЕ ТОЛЬКО МОЖНО ВООБРАЗИТЬ!

Число представленных на рынке разнообразных микроконтроллеров (МК) непрерывно растет. Почти еженедельно появляется новое изделие. Наряду с небольшими МК-чипами на рынок выпускается все больше многоядерных устройств. Если в начале появления универсальных устройств основное внимание разработчиков уделялось повышению быстродействия и снижению стоимости МК, то сегодня все больший интерес вызывают контроллеры с расширенными функциональными возможностями, рассчитанные на конкретное применение. Выпускается все больше микросхем, в которых реализованы последовательный интерфейс обмена данными с накопителями информации (Serial ATA, SATA) и PCI Express. Нарастают средства взаимодействия микроконтроллеров с другими устройствами, например с дешевыми датчиками и Ethernet, а также средства поддержки протоколов беспроводной связи стандартов IEEE 802.15.4 и ZigBee. Непрерывное уменьшение размеров элементов микроконтроллеров, наращивание их интеллекта и повышение быстродействия приводят к расширению их функциональных возможностей и снижению стоимости. А поскольку в результате выбор нужного микроконтроллера усложняется, причин для оценки последних достижений в области их технологии предостаточно.

В.Майская

## РЫНОК МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Микроконтроллеры, выполняющие функции "простейшего" компьютера или "двигателя" его периферийных систем, с момента появления были и остаются основными микросхемами, привносящими "цифровой разум" в большинство современных устройств – от бытовой техники до электроприводов. Поскольку в сравнении с микропроцессорами их схемы проще, конструкции лучше отработаны, а объемы продаж больше, микроконтроллеры дешевле микропроцессоров. Правда, по вычислительным возможностям они примерно на поколение отстают от своих более известных "коллег". В 1980 году компания Intel выпустила восьмиразрядный микроконтроллер модели 8051, который содержал не только центральный процессор, но и постоянную память с возможностью перезаписи (СРПЗУ), порты ввода-вывода и периферийные устройства. Наличие встроенной энергонезависимой памяти облегчило реконфигурирование МК без существенного изменения его конструкции. Два года спустя появился 16-разрядный микроконтроллер 8096 следующего поколения. О популярности этих изделий свидетельствует тот факт, что за три года с момента появления микросхемы 8051 объем продаж микроконтроллеров увеличился с 22 млн. до 91 млн. штук. Немногие изделия могут похвастаться такими темпами роста. И в середине 80-х годов сформировалось самостоятельное направление микроэлектроники – разработка и производство контроллеров.

Сегодня на рынке представлено множество вариантов МК, предназначенных для различных, конкретных, областей применения. Их цена колеблется от менее 20 центов за микросхему для простейшей бытовой техники до 20 долл. за 32-разрядные МК, предназначенные для систем управления основными установками промышленных систем. Расширение их функциональных возможностей и совершенствование рабочих характеристик не прекращаются, и соответственно растут доходы от продаж этих изделий (табл.1). По данным компании маркетинговых исследований Semico Research, увеличение объема продаж МК в натуральном выражении в 2006 году в основном обусловлено ростом спроса на 16-разрядные ус-



тройства, в первую очередь для смарт-карт и систем управления производственными процессами. Темпы прироста продаж 16-разрядных устройств в ближайшем будущем останутся высокими, и в 2011 году объем их продаж в натуральном выражении превысит продажи восьмиразрядных микросхем. Эти данные согласуются и с прогнозом компании Databeans, специализирующейся в области маркетинговых исследований рынков полупроводниковых приборов и электронных устройств. По мнению аналитиков Databeans, снижение средней цены продажи МК высокой разрядности способствует их применению в устройствах, в которых традиционно использовались четырех- и восьмиразрядные микроконтроллеры. В результате уже в 2006 году доля последних в общем объеме отгрузок сократилась с 70 до 58%, тогда как доля 16-разрядных микросхем возросла с 24 до 34%. Но "процветание" МК младших моделей (меньшей разрядности) продолжится. Причина тому – уменьшение их размеров, потребляемой мощности и стоимости (рис.1) .

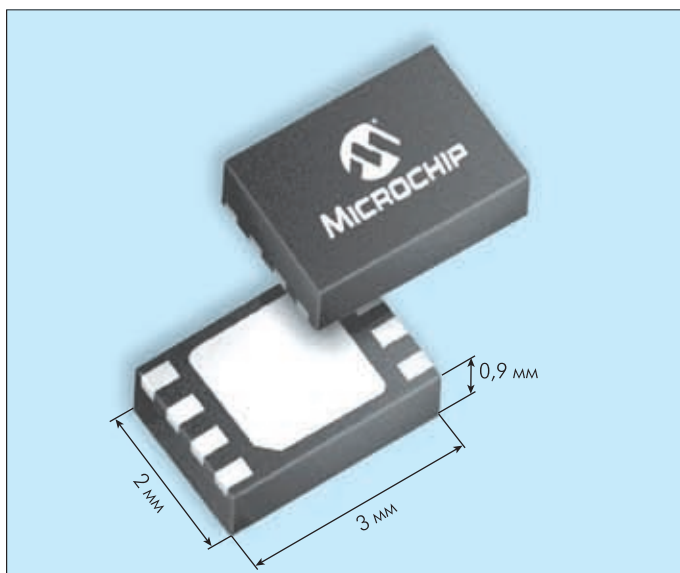
Однако в стоимостном выражении, по данным Databeans, наибольший вклад в общий объем продаж микроконтроллеров внесут 32-разрядные устройства, среднегодовые темпы прироста продаж которых в сложных процентах за период 2004–2012 годы составят 16% против ~8% для всего рынка микроконтроллеров.

Единственный тип МК, который постепенно уходит с рынка, – это четырехразрядные устройства.

На рынке микроконтроллеров доминируют изделия пяти "тяжеловесов" – Renesas Technology (24% мирового объема продаж в 2006 году), Freescale Semiconductor (14%), NEC (10%), Fujitsu и Microchip Technology. На долю этих компаний в 2006 году приходилось ~60% мирового рынка МК. Но на нем присутствует и множество менее крупных поставщиков, чьи микросхемы представляют несомненный интерес.

## ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА

Появление на рынке специализированных МК с прецизионными аналоговыми преобразователями, быстродействующими цифровыми блоками и встроенной флэш-памятью затрудняет разработчикам аппаратных средств выбор изделия с требуемыми параметрами и приемлемой стоимостью. Инженеры на протяжении своей трудовой деятельности редко принимают решения, руководствуясь эмоциями. Тем не менее, при выборе микроконтроллера всегда присутствует эмоциональная со-



**Рис.1. Поставщики восьмиразрядных МК стремятся перейти к малагабаритным устройствам, подобным микросхемам серии PIC10F компании Microchip, монтируемым в DFN-корпус размером 2×3 мм**

ставляющая. У большинства разработчиков есть своя "любимая" архитектура, и предложение ее изменить рассматривается чуть ли не как преступное. Вот почему на рынке представлено так много семейств МК на базе ядер 80C51 и ARM.

Сегодня два фактора противостоят этой естественной инерции. Первый – характеристики и особенности "любимой" архитектуры. Если характеристики выбранного семейства не удовлетворяют требованиям нового приложения и не существует варианта с нужным набором периферии, приходится искать другой тип МК. Второй фактор – тенденция к программированию на языке высокого уровня, в частности на языке Си, обеспечивающим портативность кода.

Но каковы бы ни были мотивы обращения к новому МК, необходимо учитывать и возможности реализации существующих сложных функциональных блоков, т. е. наличие нужных средств проектирования и поддержки его архитектуры, особенно инструментария (Си-компиляторов, эмуляторов, программирующих устройств) независимых поставщиков.

Если перенос программных средств предшествующих устройств на новый МК возможен, начинать выбор микроконтроллера стоит с определения его "размера" – четырех-, восьми-, 16-, 32- или 64-разрядный. Четырехразрядные компоненты типа МК семейств OLMS63K и 64K компании Oki или Marс4 компании Atmel обеспечивают самые дешевые решения. Их обычно применяют в бытовой технике с батарейным пита-

**Таблица 1. Прогноз мирового рынка микроконтроллеров (данные компании Databeans по состоянию на июль 2007 года)**

Показатель	Динамика рынка						Среднегодовые темпы роста в сложных процентах, %
	2007	2008	2009	2010	2011	2011	
Объем продаж: в стоимостном выражении, млрд. долл.	13,716	15,631	16,272	17,723	19,204	20,48	8
	10,233	11,255	11,831	13,502	14,450	15,765	
в натуральном выражении, млрд. шт.							9
Средняя цена, долл.	1,34	1,39	1,38	1,31	1,33	1,30	-1

нием. Правда, разработка кода для четырехразрядной архитектуры затруднена, а работа с чктырехразрядными командами и данными усложняет арифметические расчеты.

Восьмиразрядный микроконтроллеры присутствуют на рынке уже давно, и вариантов их множество – от дешевых устройств с малым быстродействием, предназначенных для замены четырехразрядных устройств, до МК с производительностью несколько десятков миллионов команд в секунду.

Для приложений, требующих большой производительности, целесообразно выбирать 16- или 32-разрядные устройства. Поскольку сегодня 32-разрядные МК выпускаются по приемлемой стоимости, можно ожидать, что они вскоре будут доминировать на рынке, о чем свидетельствуют и приведенные ранее прогнозы развития рынка микроконтроллеров. В первую очередь это относится к МК на основе ядра ARM или MIPS.

По мнению Роланда Гехрмана (Roland Gehrmann) – менеджера по развитию бизнеса в области специализированных микросхем компании Toshiba America Electronic, при выборе МК следует ответить на следующие семь вопросов.

*1. Какая архитектура лучше всего подходит для данного приложения: CISC или RISC?*

По мере ужесточения требований к производительности МК заказчик, как правило, сразу переходит от CISC- к RISC-архитектуре. Однако на рынке имеются МК на базе CISC-архитектуры, работающие на частоте 80 МГц и обеспечивающие быстродействие 80 Mips. Для систем с уже имеющимся программным обеспечением, или для средств воспроизведения высококачественного звука (проигрывания музыкальных программ или обучения) такие CISC-семейства МК вполне приемлемы.

*2. Какие предусмотрены дополнительные функции МК?*

Независимо от того, как классифицирован МК (специализированный или универсальный), периферия микроконтроллера всегда играет важную роль при выборе прибора. Большинство современных микроконтроллеров располагает таким набором встроенных периферийных устройств, как порты ввода-вывода, таймеры, последовательные интерфейсы. Заказчик должен интересоваться тем, какие дополнительные функции (обработки сигнала, сброса при включении питания, регистрации падения напряжения) поставщик может или планирует интегрировать в свой микроконтроллер. Так, наличие встроенных средств отладки позволяет использовать МК в целевой системе на этапе проектирования и уже на этом этапе устранять неисправности всех регистров. Некоторые заказчики используют встроенные средства отладки для поиска неисправностей при эксплуатации.

В современных микросхемах МК можно встретить и блоки умножения/суммирования, 10/100 Base-T Ethernet интерфейс, интерфейс CAN-шины, USB, ВЧ-передатчик и графический драйвер. И наконец, некоторые микросхемы МК имеют настраиваемые в соответствии с требованиями заказчика логические блоки. Так, в микросхемы семейства FPLIC компа-

нии Atmel, помимо МК с AVR-ядром, входит программируемая матрица, содержащая до 40 тыс. вентиляей.

От числа входов-выходов и используемых в микросхеме периферийных устройств зависит тип корпуса и его разводка выводов. Современные МК поставляются в разнообразных корпусах – от малогабаритных типа SO8 до многовыводных с матричным расположением шариковых выводов (BGA). При этом современные корпуса микроконтроллеров, как и любых полупроводниковых приборов, должны соответствовать требованиям директивы RoHS.

*3. Какова скорость стирания/записи МК?*

Заказчики отмечают, что иногда большой объем памяти МК нежелателен. Поскольку, как правило, МК в ходе производства системы репрограммируется два-три раза, время стирания/записи памяти становится важным его параметром. Время стирания данных флэш-памяти емкостью 512 Кбайт новейших МК составляет 2–3 с. У многих современных устройств оно не меньше 40 с.

*4. Согласуются ли значения быстродействия памяти ядра и флэш-памяти?*

Во многих МК флэш-память уступает памяти ядра по быстродействию. В результате МК копирует данные флэш-памяти в ОЗУ и затем извлекает их уже из него. При выборе МК следует обращать внимание на этот фактор.

*5. Какова емкость памяти МК?*

Увеличение емкости памяти ядра и применение флэш-памяти – неотъемлемые требования, предъявляемые к современным МК. Архитектура памяти МК всегда имела большое значение при проектировании системы. Наличие встроенной или необходимость применения внешней памяти, а также их объем всегда были ключевыми факторами при оценке стоимости построения системы и ее производительности. С увеличением емкости памяти появляется возможность добавления в микросхему МК самых разнообразных устройств: сетевых интерфейсов, графических контроллеров, контроллеров ЖКД, умножителя/сумматора, таймера, блоков ввода-вывода. К трем основным типам памяти, влияющим на выбор конкретного МК, относятся:

- память программ: флэш, однократно программируемая память или ПЗУ;
- память данных: встроенное ОЗУ либо внешнее синхронное ДОЗУ;
- энергонезависимая память данных: ЭСРПЗУ или флэш.

Во все большем числе микросхем используются все три типа памяти. Так, микроконтроллеры AVR-семейства компании Atmel содержат флэш-память программ емкостью 1К–128 Кбайт, СОЗУ для хранения данных и ЭСРПЗУ небольшой емкости для хранения данных конфигурации и серийного номера. Благодаря такому набору памяти микроконтроллеры семейства весьма популярны для применения в универсальных промышленных системах и средствах безопасности.



Применение флэш-памяти стимулировала необходимость сохранения данных после отключения питания и возможность репрограммирования изделий. Именно благодаря возможности изменения кода на последних этапах проектирования системы сегодня все чаще флэш-память заменяет в МК однократно программируемое ЗУ. Использование сегментированных флэш-блоков позволяет микроконтроллеру репрограммировать один сегмент памяти под управлением другого сегмента, не отключая питания.

Флэш-память вытесняет и ПЗУ, которые пока еще достаточно широко применяются в МК крупносерийного производства. Это объясняется возможностью прямых отгрузок заказчику заранее запрограммированных заводом-производителем устройств. Тем самым сокращается длительный период освоения новой продукции и исключаются дорогостоящие этапы изменения кода, необходимые для приборов с ПЗУ. Флэш начинают конкурировать с ПЗУ и при создании устройств с батарейным питанием, где до сих пор благодаря малым рабочим напряжениям (0,9 В) доминировала постоянная память. Однако сейчас уже появилась флэш-память на напряжение 1,8 В.

При выборе типа памяти данных, помимо требований, предъявляемых приложением, необходимо в первую очередь учитывать используемый код. Компиляторы Си требуют боль-

шого объема ОЗУ как для хранения переменных и указателей, так и с точки зрения размера стека. Наличие встроенной флэш-памяти, конечно, первоначально приводит к удорожанию микросхемы. Но это только первоначально, со временем стоимость их снижается.

#### *6. Как изменяется цена выбранного МК?*

Несомненно, стоимость играет важнейшую роль при выборе конкретного изделия. Но выбирать МК на основе лишь его стоимости нельзя. Следует не только как можно полнее проанализировать все элементы, определяющие стоимость МК, но и рассмотреть несколько сценариев типа "А если?"

#### *7. Выполняет ли поставщик кратко- и долгосрочные требования?*

Заказчикам следует обращать внимание не только на характеристики и качество выбранного МК, но и на особенности поставщика. Например, какова интенсивность отказов изделий поставщика при эксплуатации и при производстве? Какие еще изделия выпускает поставщик? Сможет ли заказчик приобрести необходимые ему дополнительные устройства – другие типы микроконтроллеров, дисплеи и т.п. Не безынтересны промышленные и географические области, в которых позиции поставщика наиболее сильны. Следует также выяснить, выпускается ли требуемый МК одним или несколькими предприятиями.



## ЧЕГО ОЖИДАТЬ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ?

**Быстродействующие последовательные интерфейсы.** Современные 32- и 64-разрядные контроллеры начинают щеголять интерфейсами SATA, PCI Express и Serial RapidIO. Чипсеты моделей Athlon и Operton компании AMD, Core Duo и Xeон фирмы Intel для 32- и 64-бит хост-процессоров уже располагают такими интерфейсами. Переход к высокопроизводительным последовательным интерфейсам вызван не только стремлением повысить пропускную способность, но и возможностью уменьшить число выводов и габариты микросхемы. Наконец-то с улучшением характеристик и увеличением функциональных возможностей габариты МК уменьшаются.

По мере роста отгрузок накопителей на жестких дисках SATA будет способствовать продвижению IDE-интерфейса во встраиваемые системы. Расширению применения последовательных интерфейсов во встраиваемых приложениях способствуют и уменьшение размеров кабельных соединителей. И в ближайшем будущем можно ожидать применение технологий External SATA и ExpressCard, в первую очередь в МК для настольных и портативных компьютеров. Во встраиваемых устройствах PCI Express не сразу вытеснит PCI. Наоборот, пока число МК, поддерживающих PCI-интерфейс, увеличивается, что объясняется наличием периферии, рассчитанной на эту спецификацию, и громадным опытом разработки таких устройств.

И, разумеется, не останется в стороне "невоспетый герой", внесший значительные изменения в компьютерную технику, – USB-стандарт, ставший де-факто стандартом мобильных систем.

**Микроконтроллерные сети.** Многие встраиваемые микроконтроллеры работают автономно, но современная тенденция направлена на объединение их в сеть. Это касается всех типов МК – от восьми- до 64-разрядных. И во все большем числе МК предусмотрены сетевые интерфейсы. В недорогих восьмиразрядных устройствах – это 10BaseT Eth-

ernet интерфейсы, в высокопроизводительных микросхемах – высокоскоростные интерфейсы, такие как PCI Express (PCIe) и Serial RapidIO (SRIO). В итоге интерес к промышленным сетям Ethernet, в которых датчики и средства регулирования окажутся в одной сети с системами управления, несомненно, возрастет. Увеличение объема памяти, уменьшение размера стека и совершенствование аппаратных средств (в том числе и средств шифрования) МК приведет к тому, что, в конце концов, на передний план выйдут вопросы информационной безопасности и освоения протокола IPv6.

Следует ожидать расширения применения в МК CAN-интерфейса и его "кузена" FlexRay\*. Так, компания Infineon Technologies одной из первых поставщиков полупроводниковых приборов сообщила о выпуске связанного контроллера CIC-310 (CIC – Companion IC), отвечающего требованиям спецификации FlexRay V2.1. Контроллер может подключаться почти ко всем распространенным архитектурам микроконтроллеров и микропроцессоров, используемых в автомобильных системах, обеспечивая масштабируемый и высокоскоростной принцип построения средств связи на базе MicroLink, а также последовательного и параллельного интерфейсов.

Правда, протокол FlexRay в ближайшие два-три года будет применяться исключительно в автомобильных системах, но он перспективен и для неавтомобильных приложений реального времени. По мере выполнения все большего числа микросхем электроприводов с CAN-интерфейсом МК с таким интерфейсом найдут применение и в робототехнике.

С расширением применения средств беспроводной связи не удивительно, что системы управления также следуют этой тенденции. Это нашло отражение в разработке стандартов беспроводных локальных сетей персональных устройств ZigBee и 802.15.4. И сегодня с появлением МК с беспроводными

\*FlexRay – протокол обмена данными, поддерживающий средства управления автомобильными электронными системами. Предложен консорциумом FlexRay, в который входят компании BMW, Bosch, DaimlerChrysler, Freescale, GM, NXP Semiconductors и Volkswagen.

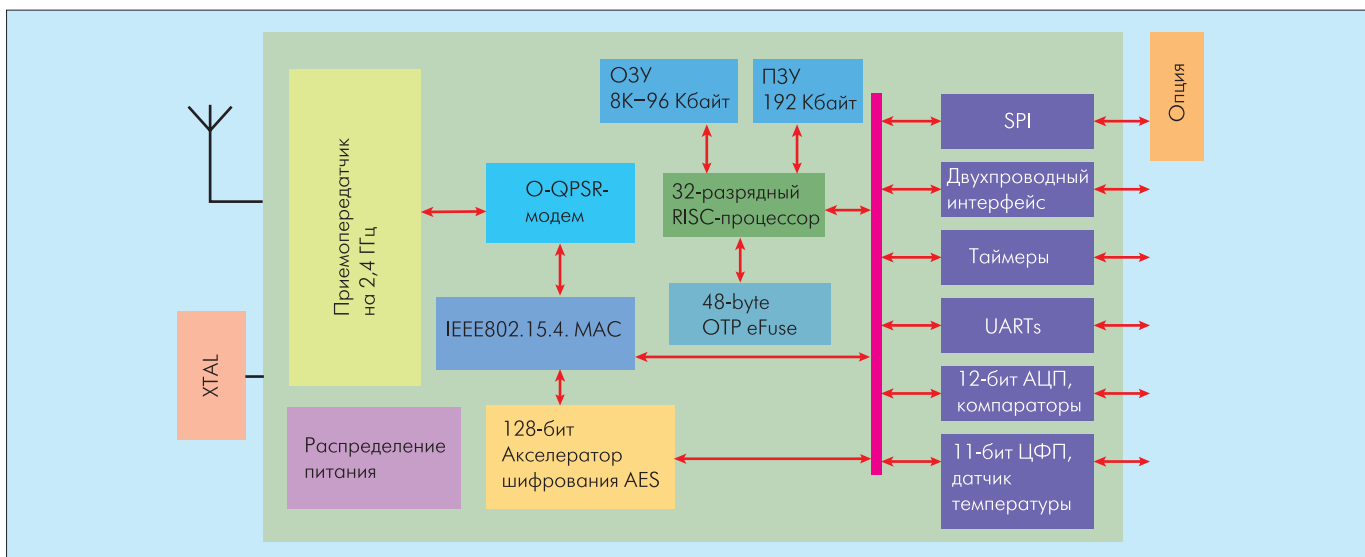


Рис.2. Блок-схема микроконтроллера JN513x

**Таблица 2. Примеры представленных на рынке беспроводных микроконтроллеров**

Компания	Тип изделия	Процессорное ядро	Память и периферия	Сетевой контроллер				Радиосвязь		
				Стек протоколов ZigBee	MAC уровень 802.15.4	Улучшенный MAC	AES	Частота, ГГц	Чувствительность приемника, дБВт	Мощность передаваемого сигнала, дБВт
AirBee Wireless	ZNS-2006	–	–	X	–	–	–	–	–	–
Atmel	AT86RF230	–	–	–	X	–	–	2,4	-101	3
	ATmega family	8-бит RISC AVR	1–4-Кбайт ЭСРПЗУ, 8-Кбайт ОЗУ, флэш емкостью до 256 Кбайт	X	X	–	–	–	–	–
Ember	EM 250	16-бит XAP2b	128-Кбайт флэш, 5-Кбайт СОЗУ, два последовательных контроллера с DMA, таймеры, 17 портов ввода-вывода	X	X	–	X	2,4	-97	3
Freescale Semiconductor	MC1320x	–	–	X	X	–	–	2,4	-92	0
	MC1321x	HCS08	Флэш емкостью от 16 до 60 Кбайт, ОЗУ емкостью до 4 Кбайт, таймер/ШИМ, 8-канальный 10-бит АЦП, два последовательных интерфейса, до 32 портов ввода-вывода	X	X	–	–	2,4	-92	0
	MC1322x	26-МГц 32-бит RISC	ПЗУ, ОЗУ, флэш, два 12-бит АЦП, последовательные порты и периферия	X	X	X	–	2,4	–	–
MG Systems & Software	–	–	–	X	X	–	–	–	-92	–
Microchip Technology	MRF24J40	–	–	X	X	X	X	–	–	5
Oki Semiconductor	ML7065	–	–	–	X	X	X	2,4	-91	0
	ML7222	8-бит RISC	128-Кбайт ОЗУ программ, 12-Кбайт СОЗУ, 4 10-бит АЦП, 2 последовательных порта, 16 портов ввода-вывода, интерфейс внешней памяти	X	X	X	X	2,4	-90	0
Renesas Technology	Комплект разработки ZigBee	M16C семейство	12-Мбайт флэш, ОЗУ емкостью до 31 Кбайт, разнообразная периферия, возможность работы с различными средствами радиосвязи	X	X	–	–	–	-90	–
STMicroelectronics	SN250	12-МГц 16-бит RISC	128-Кбайт флэш, 5-Кбайт ОЗУ, 2 последовательных контроллера с DMA, таймеры, 16 портов ввода-вывода	X	X	X	X	2,4	–	4
	SN260	–	–	–	X	–	X	2,4	-97	4
Texas Instruments/Chipcon	CC2420	–	–	–	–	X	X	2,4	-95	0
	CC2430	8051	8-Кбайт ОЗУ, до 128 Кбайт флэш, 8-входной реконфигурируемый АЦП, таймеры, 2 UART, монитор батареи, датчик температуры, 21 порт ввода-вывода	X	X	X	X	2,4	-95	0
	CC2431	8051	8-Кбайт ОЗУ, 128-Кбайт флэш, DMA, 8-входной реконфигурируемый АЦП, таймеры, 2 UART, монитор батареи, датчик температуры, 21 порт ввода-вывода	X	X	X	X	2,4	-95	0

средствами связи усилия по созданию этих стандартов начинают приносить плоды. Стандарты беспроводных локальных сетей Wi-Fi и WiMAX не будут реализованы в микроконтроллерах, но почти в каждом МК с разрядностью менее 64 бит будут предусмотрены стандарты 802.15.4 и ZigBee.

Изготовители полупроводниковых приборов поставлены перед выбором сетевых уровней, которые необходимо реализовать в беспроводном МК. Это:

- физический уровень и уровни управления доступом к среде передачи (Media-Access Control, MAC) стандарта 802.15.4. При этом физический уровень поддерживает радиосвязь и обеспечивает передачу сигналов в широком спектре на частоте 915 МГц или 2,4 ГГц, тогда как MAC-уровень – управление потоком данных, функции сетевой связи и AES шифрования данных;

- поддержка дополнительных уровней и сетевого уровня в соответствии со стандартом ZigBee. Этот стандарт предусматривает автоматическое конфигурирование сетей типа звезды, сетки или кластерного дерева. Предназначен в основном для применения в системах с малой скоростью передачи данных (домашнем оборудовании, промышленных устройствах преобразования данных и управления).

Ряд компаний предпочитают интегрировать в микросхему физический уровень, а MAC- и сетевые уровни стандарта ZigBee реализовывать программными средствами. Другие интегрируют физический и MAC-уровни в одной микросхеме, для чего нужен второй процессор, но с менее жесткими требованиями к рабочим характеристикам. При этом они обычно предусматривают в процессорах сертифицированный стек протоколов ZigBee (табл.2). И лишь немногие фирмы выпус-

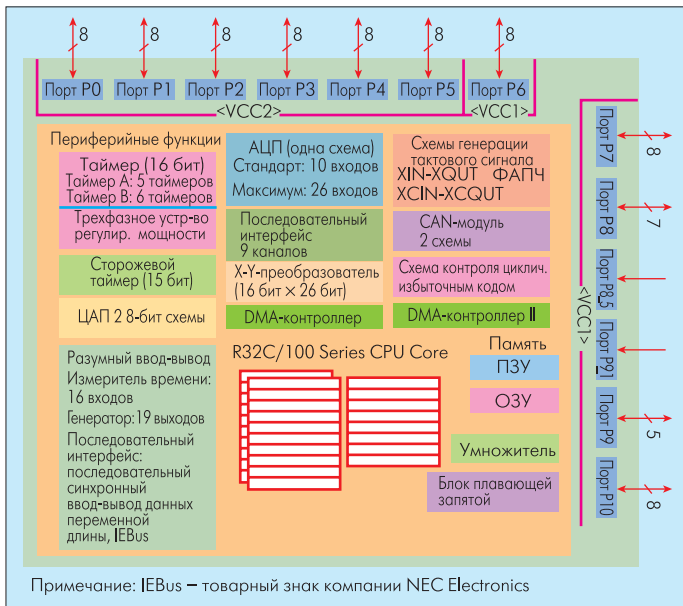


Рис.3. Блок-схема МК R32C/118

кают полностью интегрированные микроконтроллеры, в которых реализованы все уровни обоих стандартов, встроенные периферийные устройства и предусмотрена возможность хранения прикладных программ.

На выставке бытовой электроники (CES) 2007 года компания Japnic (Великобритания), специализирующаяся в области разработки беспроводных микроконтроллеров, представила МК семейства JN513x, выполненный на базе 32-разрядного RISC-процессора с производительностью до 32 Mips. В микроконтроллер также входят: приемопередатчик на частоте 2,4 ГГц (чувствительность приемника составляет -97 дБ, мощность передаваемого сигнала - 3 дБВт, дальность действия - 1 км), память (ПЗУ емкостью 192 Кбайт, ОЗУ емкостью от 8К до 96 Кбайт), обширная периферия (четырёхвходной 12-разрядный АЦП, два 11-разрядных ЦАП, компаратор, два таймера/счетчика программ, три системных таймера, 21 порт ввода-вывода и др.) (рис.2). Ток, потребляемый в спящем режиме равен 0,2 мкА, в рабочем режиме - 2 мкА, напряжение питания - 2,2-3,6 В. Монтируется в 56-выводной корпус типа AT размером 8x8 мм. МК характеризуется и большей робостностью в средах с высоким уровнем шумов. По утверждению разработчиков, новые беспроводные МК в конце 2007 года или начале 2008-го будут представлены на рынке по цене менее 2 долл. при закупке партии в 100 тыс. штук.

**Виртуализация.** Таким образом, как правило, в МК используются стандартные интерфейсы с фиксированной логикой. Однако все больше компаний применяют программируемые механизмы, позволяющие реализовывать гибкие (виртуальные) soft-интерфейсы. Так, в МК семейства fido1100 компании Innovasic Semiconductors используется универсальный контроллер ввода-вывода (Universal IO Controller, UIC), оперирующий различными интерфейсами, в том числе и Ethernet. А компания Freescale Semiconductor в МК семейства PowerQUICC применяет счетверенный интегриро-

ванный связной контроллер (QUad Integrated Communications Controller, QUICC), поддерживающий в 32-разрядных RISC-микроконтроллерах широкий диапазон сетевых протоколов. Тем самым процессорное ядро освобождается от необходимости поддерживать связь и трафик, благодаря чему оптимизируется его производительность. Для программирования контроллера используется микрокод (подобно программированию базовых матричных кристаллов), что упрощает реализацию требуемого протокола и будущих версий промышленных детерминированных протоколов.

Ряд фирм приступили к выпуску МК, в которых периферийные интерфейсы полностью реализованы программными средствами. К последним МК этого типа относятся XCore компании XMOS, Propeller компании Parallax и SeaForth фирмы IntellaSys. МК XCore реализует многочисленные Ethernet интерфейсы, тогда как Propeller обеспечивает непосредственное управление дисплеем, а SeaForth можно найти в беспроводных устройствах.

Конечно, в таких микросхемах приходится жертвовать лишней площадью, каждый "soft" или "виртуальный" интерфейс пожират площадь под обрабатывающие ресурсы. Но виртуализация позволяет проводить модернизацию в условиях эксплуатации, поддерживает выбор гибких интерфейсов и передает управление периферией в руки разработчика.

В случае 64-разрядных МК имеет место и "виртуализация", подразумевающая виртуальное управление устройством (Virtual Machine Management, VMM), а не виртуальные или soft-периферийные интерфейсы. В этом случае необходимо периферийное физическое устройство, подобное Ethernet-адаптеру, к которому имеет доступ ОС виртуальной машины. Обычно доступ к адаптеру имеет VMM гипервизор, предоставляющий машине виртуальное устройство виртуальной и предотвращающий прямой доступ к адаптеру. Как правило, адаптеры поддерживают от четырех до 16 интерфейсов.

В ближайшем будущем виртуализация затронет и менее производительные микроконтроллеры. Так, виртуальный ввод-вывод предусмотрен и в некоторых 32-разрядных ком-



Рис.4. Взаимозаменяемые МК MC9S08Q128 и MCF51QE128, MC9S08QE128

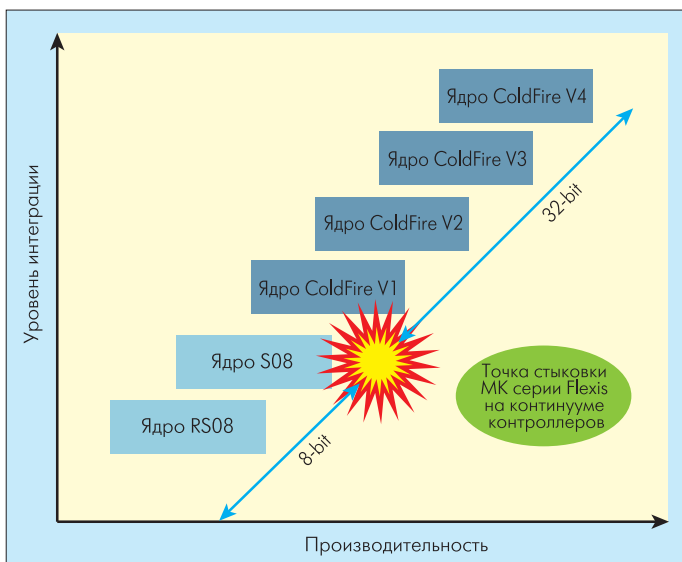
понентах, правда, пока в более ограниченном виде, чем в 64-разрядных МК.

Как же реагируют основные поставщики микроконтроллеров на рассмотренные тенденции?

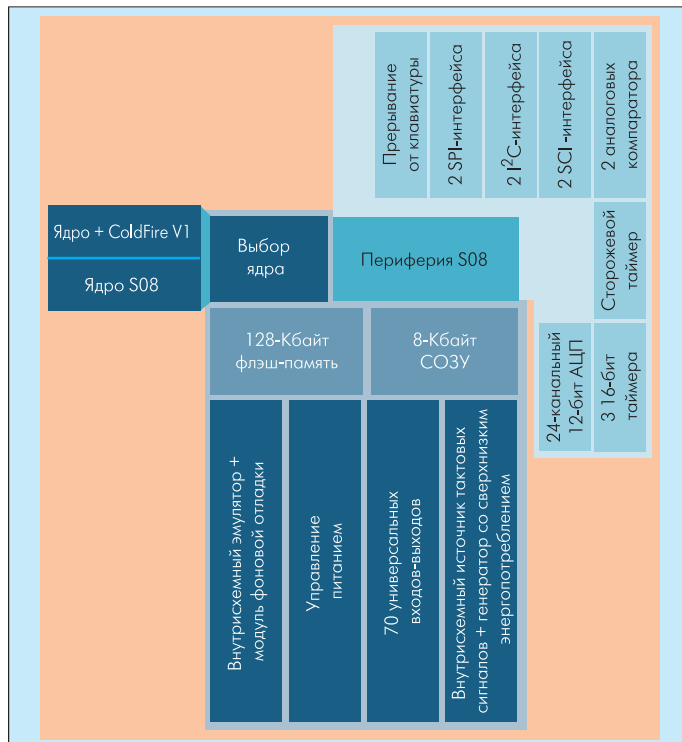
## RENESAS TECHNOLOGY

Компания Renesas Technology, образованная 1 апреля 2003 года фирмами Hitachi и Mitsubishi Electric, сумела за четыре года стать ведущим мировым поставщиком микроконтроллеров. Сегодня в номенклатуру выпускаемых ею МК входят два популярных семейства CISC-устройств: H8 (8/16/32-разрядные, совместимые по системе команд микроконтроллеры серий H8/300, H8/300L, H8/300H, H8S и H8SX) и M16C (8/16/32-разрядные, совместимые по системе команд микроконтроллеры серий M8C, M16C/60, M32C/80, M32C/90 и M32C/100).

В июне 2007 года компания сообщила о дополнении серии 32-разрядных микроконтроллеров M32C/100 двумя новыми моделями микросхем с флэш-памятью (два блока емкостью 48 Кбайт каждый) типа R32C/118 (рис.3). Новые МК – усовершенствованные варианты компонентов серии M32C/80. Выполнены они на основе CISC-ядра R32C/100 – самого высокопроизводительного ядра платформы M16C и обратно совместимы с существующими компонентами платформы. Максимальная рабочая частота МК R32C/118 составляет 48 МГц (при напряжении питания 3,0–5,5 В) против 32 МГц (при 4,2–5,5 В) для приборов серии M32C/80. Новые микросхемы содержат два CAN-модуля и девятиканальный последовательный интерфейс (семиканальный у МК серии M32C/80). В число внутрисхемных периферийных устройств входят схема безопасности, DMA-контроллер, 16-разрядные многофункциональные таймеры, 10-бит АЦП (26 каналов), 8-бит ЦАП (два канала) и интеллектуальный блок ввода-вывода, выполняю-



**Рис.5 Континуум контроллеров компании Freescale Semiconductor обеспечивает поэтапную совместимость микросхем МК, облегчающую переход от приборов с низким быстродействием к приборам с высоким быстродействием и наоборот**



**Рис.6. Стандартные блоки МК семейства Flexis QE128**

щей функцию захвата входных данных/сравнения выводимых данных.

Монтируются МК в 10-выводной корпус типа LQFP. Предназначены для аудиосистем, в том числе автомобильных, и универсального промышленного оборудования. Опытные поставки планировались на сентябрь 2007 года.

Интерес представляет и выпущенный в июле 2007 года новый восьмиразрядный МК для управления электроприводом типа H8/36079GF. Микроконтроллер сравним по стоимости с восьмиразрядными устройствами аналогичного назначения, но существенно превосходит их по своим характеристикам. МК выполнен на основе CISC-ядра H8/300H. Максимальная рабочая частота его составляет 50 МГц (50 Mips), емкость флэш-памяти 32–128 Кбайт, СОЗУ – до 6 Кбайт. Внутрисхемный I<sup>2</sup>C-интерфейс обеспечивает сопряжение с различными периферийными устройствами, в том числе с ЭСРПЗУ, телекоммуникационными микросхемами и другими микроконтроллерами. В микросхему входят сторожевая схема, незави-

**ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ АССОРТИМЕНТ РАЗЪЕМОВ ИМПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Тел.: +7 (495) 740-4980, 720-5102 www.zip-2002.ru e-mail: info@zip-2002.ru



симый генератор, схемы сброса при включении питания и регистрации падения напряжения, два высокоскоростных UART, восьмиканальный 10-бит АЦП.

H8/36079GF практически пригоден для применения в любом дешевом электроприводе стиральных и посудомоечных машин, компрессоров и вентиляторов, маломощных промышленных двигателей. Он может найти применение и в телевизионных приставках.

Сейчас специалисты компании Renesas Technology разрабатывают новую архитектуру микропроцессорного ядра для будущих 16- и 32-разрядных МК. Новое ядро должно обеспечить существенное улучшение эффективности выполнения команд и производительности, а также снизить энергопотребление микроконтроллеров. Ядро будет совместимо с наборами инструкций, периферийными регистрами и средствами проектирования выпускаемых компанией МК. По оценкам разработчиков, новое ядро позволит уменьшить набор инструкций на 30% и потребляемую мощность – на 50%.

### FREESCALE SEMICONDUCTOR

В июне 2007 года компания представила первые две микросхемы семейства Flexis QE128 – восьмиразрядный МК типа MC9S08QE128 на базе ядра S08 и 32-разрядный МК типа MCF51QE128, в котором впервые использовано ядро Cold-Fire VI. Это первые взаимозаменяемые разъемосовместимые восьми- и 32-разрядные микроконтроллеры с одинаковым набором внутрисхемной периферии и единым инструментарием разработки (рис.4). Новые МК формируют точку стыковки в так называемом континууме контроллеров (Controller Continuum) компании Freescale – первом и единственном перспективном плане развития совместимых восьми- и 32-разрядных МК (рис.5). МК семейства Flexis QE128 облегчат разработчикам систем переход от встраиваемых устройств с низкой производительностью к устройствам с высокой производительностью с минимальными затратами времени, усилий и денег. Например, разработчик может преобразовать простую восьмьразрядную систему обеспечения безопасности жилого помещения в сложную 32-разрядную коммерческую систему безопасности, не меняя печатную плату, программируемые команды и средства проектирования. Ему нужно лишь заменить восьмиразрядный МК семейства Flexis QE128 32-разрядным микроконтроллером того же семейства с тем же расположением выводов, перекомпилировать программы с помощью программных средств Code Warrior Development Studio, используемых и для восьмиразрядного МК.

Чтобы минимизировать издержки производства и продлить срок жизни батарей портативных устройств, в которых используются микросхемы семейства Flexis QE128, МК выполнены на базе элементов со сверхнизким энергопотреблением.

Оба МК могут работать от внешнего генератора на частоту 32 кГц с током потребления менее 1 мкА. Встроенный регулятор напряжения позволяет обеим микросхемам переходить из дежурного режима в рабочий за 6 мкс. Минимальный ток в дежурном режиме составляет 370 нА. Управление пропусканием тактовых импульсов для блокирования подачи их на неработающие модули позволяет на 33% снизить мощность, потребляемую в рабочем режиме. Рабочая частота обоих ядер составляет 50 МГц, частота шины – 25 МГц. Обе микросхемы содержат ОЗУ емкостью до 8 Кбайт, флэш-память емкостью до 128 Кбайт, 42-канальный 12-бит АЦП и многие другие общие элементы (рис.6). Напряжение питания равно 1,8–3,6 В, диапазон рабочих температур – от -40 до 85°C. Монтируются в корпуса типа 80LQFP и 64LQFP. Мас-совое производство новых МК компания планирует начать в ноябре 2007 года.

Новые МК найдут широкое применение в разнообразных бытовых и промышленных устройствах – системах автоматизации предприятий, оборудовании, медицинской аппаратуре, системах безопасности, нагрева, вентиляции и кондиционирования воздуха, кассовых терминалах.

### STMICROELECTRONICS

Компания одной из первых выпустила 32-бит флэш-микроконтроллеры семейства STM32 на базе ядра Cortex-M3 фирмы ARM\*. Cortex-M3, в разработке которого принимали участие и специалисты STM, представляет собой 32-разрядный RISC-процессор последнего поколения компании ARM, разработанный для встраиваемых приложений, требующих высокой производительности (1,25 DMips/МГц) наряду с малой потребляемой мощностью низкой стоимостью.

При разработке ядра Cortex-M3 ставилась задача добиться низкой стоимости микроконтроллеров для широкого диапазона приложений, цена которых в сильной степени зависит от размеров процессора и памяти. Особенности усовершенствованного ядра являются:

- векторный контроллер вложенных прерываний (Nested vectored interrupt controller, NVIC), обеспечивающий поддержку перехода между последовательно выполняемыми обработчиками прерываний не более шести циклов;
- прямой доступ к отдельным битам данных;
- поддержка предсказания ветвлений;
- умножение за один цикл;
- высокоэффективная система команд Thumb-2, позволяющая разработчикам уменьшить размер кода до 45% и тем самым почти в два раза уменьшить объем памяти, необходимый для прикладных программ.

Компания STM выпустила две серии МК семейства: "производительную" – STM32F103 на частоту 72 МГц и "доступную" – STM32F101 на частоту 36 МГц, позволяющую пользователям получить производительность 32-разрядных уст-

\*Новый микроконтроллер от STMicroelectronics на базе ядра ARM Cortex M3. Наст. №, с.50.



ройств по цене 16-разрядных. Микросхемы обеих серий содержат флэш-память емкостью от 32 до 128 Кбайт, но отличаются максимальным объемом СОЗУ (до 16 Кбайт для STM32F101 и 20 Кбайт для STM32F103). В рабочем режиме на частоте 72 МГц МК семейства STM32 потребляют ток 36 мА (0,5 мА/МГц). Это рекордно малый потребляемый ток для 32-разрядных МК. В дежурном режиме при активной схеме возврата в исходное положение потребляемый ток составляет 2 мкА. Напряжение питания – от 2 до 3,6 В. Диапазон рабочих температур – от -40 до 85°C.

Периферия МК семейства STM32 включает 16-канальный 12-бит АЦП (время преобразования 1 мкс); до трех UART, до двух интерфейсов SPI (18 МГц), два I<sup>2</sup>C, три 16-бит таймера, семь DMA-каналов и до 80 быстродействующих портов ввода-вывода. В микросхеме STM32F103 предусмотрены также шина USB, шестиканальный ШИМ-таймер и дополнительный АЦП). Встроенные средства возврата в исходное состояние включают: сброс по включению питания (POR), сброс по выходу из дежурного режима и супервизор напряжения, встроенный отрегулированный при производстве RC-генератор на 8 МГц, который может работать как основной генератор; встроенный генератор на 4–16 МГц для подключения внешнего кристаллического генератора и два сторожевых таймера.

В результате МК семейства STM32 превосходят эквивалентные приборы на основе ядра ARM7TDMI по быстродействию на 30% или потребляют на 75% меньше энергии в сравнении с устройствами с аналогичным быстродействием. Согласно данным Dhrystones и других тестовых программ, МК семейства по своей производительности в два раза превосходят микроконтроллеры с лучшими 16-разрядными архитектурами. При этом стоимость МК при закупке партии в 10 тыс. шт. лежит в пределах 1,8 долл. для STM32F101 и до 3,6 долл. для STM32F103.

Малая потребляемая мощность МК семейства STM32 на базе ядра Cortex-M3, простота их применения и низкая стоимость открывают перед ними огромные перспективы. Специалисты компании STM считают, что новое семейство сможет ответить любым требованиям разработчиков встраиваемых систем. STM продолжит совершенствование МК этого семейства за счет увеличения емкости флэш-памяти до 512 Кбайт, емкости СОЗУ до 64 Кбайт и ввода дополнительных свойств.

По мнению руководителей компании Luminary Micro, частной акционерной фирмы, специализирующейся в области разработки, маркетинга и продажи микроконтроллеров на базе ядра Cortex-M3, это ядро будет способствовать объединению производителей микроконтроллеров с разнообразной архитектурой и консолидации рынка МК. Это объясняется простотой и быстротой программирования процессора, не требующей от пользователей написания какой-либо про-

граммы на ассемблере или глубокого знания архитектуры для создания простых приложений. А основной критерий выбора того или иного МК – малые сроки разработки и выхода на рынок. Кроме того, низкие затраты на разработку зависят от простоты и скорости разработки программных средств. Сейчас же на рынке представлены МК свыше 40 поставщиков с более чем 50 различными архитектурами. При этом ни на один тип микроконтроллера с определенной архитектурой не приходится более 5% продаж.

Рассмотреть в одной статье все новые микроконтроллеры, выпускаемые еженедельно на рынок невозможно. Как утверждал Козьма Прутков, нельзя объять необъятное. Сейчас неизвестно, получит ли мир микроконтроллеров доминирующую архитектуру, подобную x86 для настольных ПК. Пока развитие МК стимулируют разнообразные системы, этого, вероятно, не случится. Но необходимость снижать стоимость разработки, увеличивать возможности повторного использования технических решений и сокращать время проектирования способствует движению навстречу стандартным платформам. Для зрелого рынка на смену принципу "разделяй и властвуй" придет принцип "объединяйся и процветай". И вполне возможно, каждый сегмент рынка МК будет иметь свою доминирующую архитектуру. ○

