

Микроконтроллеры компании STMicroelectronics с ядром ARM

Анатолий ЮДИН,
к. т. н.
info@otkcm.ru

В статье проводится сравнительный анализ основных характеристик 32-разрядных микроконтроллеров компании STMicroelectronics, разработанных на основе ядра ARM7 с аналогичными микросхемами других фирм.

Компания STMicroelectronics (STM) — один из мировых лидеров по производству 8- и 16-разрядных микроконтроллеров. Начиная с 2004 года, она стремительно расширяет свое семейство 16/32-разрядных микроконтроллеров с архитектурой на основе ядра ARM7™. Наш прогноз о том, что микроконтроллерные ядра английской компании ARM (Advanced RISC Machines) быстро выйдут на уровень глобального индустриального стандарта для приложений, требующих оптимального соотношения между ценой, производительностью и энергопотреблением, оправдывается. Это объясняется тем, что вся линейка ядер ARM обладает программной совместимостью, имеется большое число продуктов для выбора и множество предложений от различных продавцов, накоплены большие проектные ресурсы для поддержки приложений. Уже есть много инженеров, обученных для работы с ARM, на рынке появилось много программного обеспечения не только от ARM, но и других фирм, обеспечена доступность инструментальных средств и предложений для различных операционных систем.

Основными достоинствами ядра ARM являются:

- наименьшее энергопотребление для обеспечения одинакового значения производительности по сравнению с другими ядрами при более низкой тактовой частоте;
- возможность программирования с оптимизацией либо скорости 32-разрядного ядра ARM, либо с оптимизацией размера программного кода при использовании 16-разрядных Thumb-команд, что обеспечивает большую гибкость при проектировании. Применение Thumb-команд обеспечивает сокращение размера программного кода до 30% при уменьшении производительности до 20%. Не следует также забывать, что 16-разрядные и 32-разрядные системы команд можно использовать одновременно.

Компания STM приобрела лицензию на всю номенклатуру ядер ARM и последо-

вательно внедряет их в своем производстве ARM микроконтроллеров. В семействе микроконтроллеров STR7xxx в качестве базового ядра используется ARM7TDMI®, производительность (до 100 MIPS) и экономичность которого зависят от рабочей частоты (до 90 МГц) и используемого напряжения питания (1,8 В или 3,3 В).

Ядро ARM7 используют и другие производители микроконтроллеров, из которых на российском рынке кроме STM можно выделить компании Freescale (ранее Motorola), Atmel, Philips и др. Однотипность ядер многих семейств микроконтроллеров различных производителей предопределяет их совместимость по аппаратно-программным средствам разработки, которые предоставляют большинство фирм поставляющих продукцию этого вида. Среди фирм, специализирующихся на разработке компиляторов C/C++ для платформы ARM, отметим ARM, IAR Systems, KEIL Software и Green Hills. Программные средства на основе компиляторов с лицензией GNU производят Hitex, Nohau, Ashling и др. Среды разработки производят PLS, SEGGER и др. Как видно, выбор достаточно большой, и вопрос возникает чаще всего в цене для определенного ряда возможностей, предоставляемых аппаратно-программными средствами. Наличие большого предложения с одной стороны облегчает, а с другой стороны и затрудняет задачу выбора оптимального микроконтроллера для решения конкретной прикладной задачи. Поэтому при выборе чаще всего решающую роль приобретают интеграционные характеристики микроконтроллеров, и в первую очередь, наличие и возможности встроенных периферийных устройств ARM микроконтроллеров, наличие и доступность библиотек программ для встроенной периферии, экономичность.

Компания STMicroelectronics в настоящее время производит две серии ARM-микроконтроллеров: STR71xFxx и STR73xFxx. Обобщенные технические характеристики микроконтроллеров данных серий приведены в таблице 1.

Основными параметрами серии STR71xF являются:

- ядро ARM7TDMI с 32-бит и Thumb16-бит набором команд, трехступенчатый конвейер, 32-бит АЛУ и мощные средства отладки;
- от 16 кбайт до 64 кбайт ОЗУ (SRAM);
- от 128 кбайт до 256 кбайт Flash-памяти с малым временем случайного доступа;
- рабочая частота CPU до 48 МГц с внешней синхронизацией 16 МГц с внутренней ФАПЧ (PLL) и нулевой режимы ожидания с ускорением;
- до 30 МГц и нулевой режимы ожидания без ускорения, без проблем при контекстном переключении и ветвлении, что необходимо в приложениях реального времени;
- до 10 соединительных интерфейсов, включая I²C, SPI, UART, CAN, а также интерфейсы USB, HDLC, MMC и Smart Card;
- 4 таймера, отдельный сторожевой таймер и часы реального времени со встроенным генератором 32 кГц для перехода в рабочий режим после дежурного режима (STANDBY);
- 5 режимов пониженного энергопотребления: WAIT, SLOW, LPWAIT, STOP и STANDBY;
- встроенный стабилизатор напряжения 1,8 В для ядра, позволяющий работать от одноканального источника питания 3,3 В;
- контроллер вложенных прерываний с быстрой обработкой нескольких векторов (32 вектора с 16 уровнями приоритетов IRQ, 2 источника маскируемых FIQ);
- до 48 портов входа/выхода (I/O) с 30/32/48 многофункциональными двунаправленными линиями I/O, из них 14 с возможностью прерываний по изменению уровня;
- интерфейс JTAG для отладки;
- промышленный температурный диапазон от -40 до +85 °С.

Микросхемы изготавливаются в миниатюрных низкопрофильных корпусах TQFP64 или TQFP144. Серия в 144-штырьковом корпусе TQFP144 имеет интерфейсы CAN, USB и интерфейс с внешней памятью. Версии в 64-штырьковом корпусе TQFP64 имеют только CAN или USB интерфейс.

Таблица 1. STR7 (ARM) — 32-разрядные микроконтроллеры [19]

	Корпус	Тип внутр. Rom	Размер внутр. Rom, кбайт	Размер внутр. Ram, байт	АЦП	Таймеры	Последовательные интерфейсы	Число портов I/O	Питание, В	Другие функции	Рабочая температура, °C	
											Мин.	Макс.
STR710FZ1	BGA 144; TQFP 144	FLASH	128	32768	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/CAN/USB	48	3,3	EMI, 16K Data Flash	-40	85
STR710FZ2	BGA 144; TQFP 144	FLASH	256	65536	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/CAN/USB	48	3,3	EMI, 16K Data Flash	-40	85
STR711FR0	BGA 64; TQFP64	FLASH	64	16384	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/USB	30	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR711FR1	BGA 64; TQFP64	FLASH	128	32768	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/USB	30	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR711FR2	BGA 64; TQFP64	FLASH	256	65536	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/USB	30	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR712FR0	BGA 64; TQFP64	FLASH	64	16384	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/CAN	32	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR712FR1	BGA 64; TQFP64	FLASH	128	32768	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/CAN	32	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR712FR2	BGA 64; TQFP64	FLASH	256	65536	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC/CAN	32	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR715FR0	BGA 64; TQFP64	FLASH	64	16384	4×12-bit	4×16-bit таймера + WDG	2×SPI/2×I ² C/4×UART/HDLC/SC	32	3,3	16K Data Flash	-40	85
STR730FZ1	TQFP 144	FLASH	128	16384	16×10-bit	10×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART/3×CAN	112	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR730FZ2	BGA 144; TQFP 144	FLASH	256	16384	16×10-bit	10×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART/3×CAN	112	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR731FV0	TQFP 100	FLASH	64	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART/3×CAN	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR731FV1	TQFP 100	FLASH	128	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART/3×CAN	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR731FV2	TQFP 100	FLASH	256	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART/3×CAN	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR735FZ1	TQFP 144	FLASH	128	16384	16×10-bit	10×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART	112	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR735FZ2	BGA 144; TQFP 144	FLASH	256	16384	16×10-bit	10×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART	112	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR736FV0	TQFP 100	FLASH	64	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR736FV1	TQFP 100	FLASH	128	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105
STR736FV2	TQFP 100	FLASH	256	16384	12×10-bit	6×16-bit таймеров + 3×16-bit TBU + 6×16-bit ШИМ модулей + WDG + RTC	3×SPI/2×I ² C/4×UART	72	5	16×DMA, внутр. RC-генератор	-40	105

Блок-схема серии микроконтроллеров STR71xFxx показана на рис. 1.

Широкие интеграционные возможности ARM-микроконтроллеров компании STM позволяют использовать их во множестве приложений, требующих высокой производительности ЦП, обеспечения разнообразных функций с возможностью их наращивания и высокой экономичности при низких системных издержках. И для такого вывода есть несколько веских обоснований. Рассмотрим несколько из них.

Все основные компоненты встроены в чип, упакованный в очень маленькие корпуса типа BGA размером от 8×8 мм или TQFP, что обеспечивает простоту разводки. Например, набор внешних компонентов для STR730 в корпусе TQFP144 обеспечивает экономию средств за счет сокращения спецификации на 19 внешних компонентов.

У ARM-микроконтроллеров STM имеется разнообразная встроенная периферия.

Три интерфейса UART позволяют обеспечить полнодуплексные асинхронные соединения с внешними устройствами и независимо программируемой скоростью передачи (TX) и приема (RX) информации до 250 кбод. Они имеют два внутренних буфера FIFO (16 слов) для передачи и приема данных, 16-разрядный контроллер скорости передачи (макс. скорость до 2 Мбод/с), бит запуска для мультипроцессорных связей, программируемый контрольный бит и стоповый бит, режим проверки абонентской линии по шлейфу, обнаруживают ошибки четности, превышения

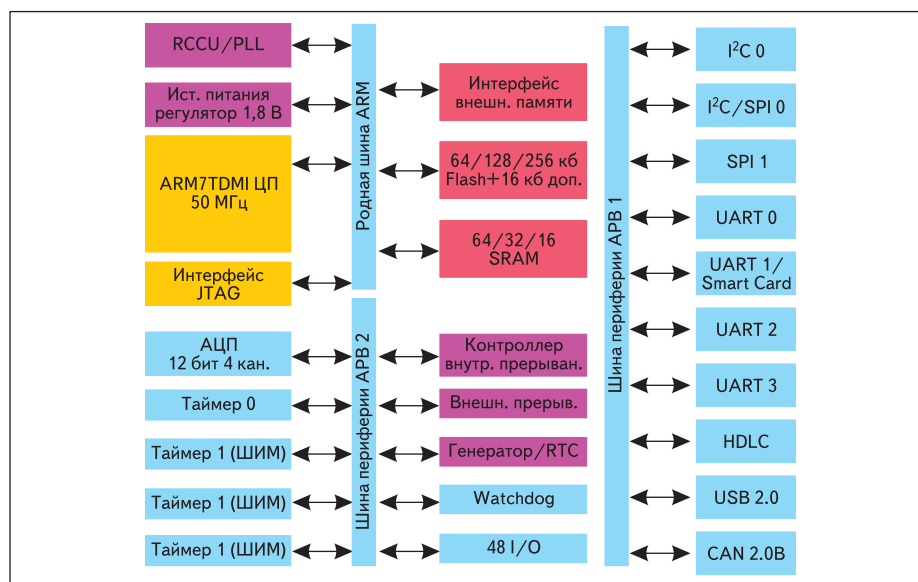


Рис. 1. Блок-схема серии микроконтроллеров STR71xFxx

границы и кадра, 9 источников прерываний (флагов).

Четвертый UART интерфейс используется для реализации асинхронного интерфейса смарт-карт по стандарту ISO 7816-3. Этот стандарт становится очень популярным во многих приложениях, особенно на транспорте, системах безопасности и в торговле. Интерфейс имеет отдельный 16-разрядный счетчик и генератор синхронизации, а также предварительный делитель частоты тактового генератора.

Каждый из двух буферизованных последовательных интерфейсов периферии (BSP1) обеспечивает полнодуплексные синхронные соединения с внешними устройствами в режиме ведущий (master) или ведомый (slave). Один из них может использоваться как интерфейс с мультимедиа-картами. Интерфейсы имеют по 2 программируемых FIFO (до 10 слов) для передачи и приема данных, внутренний 8-разрядный предварительный делитель частоты генератора с максимальной скоростью двоичной передачи 5,5 Мбит/с в режиме «ведущий»

и 4 Мбит/с в режиме «ведомый», работают с 8- или 16-бит длиной слова и генерируют прерывания для событий приема и передачи.

Два I²C интерфейса с функциями «мульти-мастер» и «ведомый» поддерживают нормальный и быстрый режимы работы I²C (400 кГц), 7 или 10-разрядный режимы адресации. Один из интерфейсов I²C совмещен с SPI, так что можно использовать одновременно 2×SPI+1×I²C или 1×SPI+2×I²C. Кроме того, они обеспечивают 2 канала прерывания (IRQ) сигнализации ошибки обнаружения и конца передачи/приема.

К прогрессирующим интерфейсам можно отнести интерфейс высокоуровневого протокола управления каналом (HDLС), который поддерживает полнодуплексную работу и несколько протоколов, включая кодирование методами NRZ, NRZI, FM0 или манчестерское кодирование. Модуль использует внутренний 8-разрядный генератор скорости двоичной передачи. Он обеспечивает автоматическое обнаружение флага и вставку, автоматическое определение нулевого бита и вставку, 2×128 байт буфера RAM для передачи и приема, 4 режима работы (локальное закольцовывание, автоэхо, полный дуплекс, прерывание).

Интерфейс CAN соответствует стандарту v2.0, часть B (активный) и может обеспечить скорость передачи информации до 1 Мбод. Он обеспечивает до 32 конфигурируемых объектных сообщений, доступный фильтрованный прием для каждого объектного сообщения, маскируемые прерывания, программируемые буферы FIFO любой глубины (до 32 сообщений), 5 режимов работы, включая тестовый.

Интерфейс полноскоростного (full speed) стандарта USB v2.0 обеспечивает до 8 двуправленных или 16 однопавленных конечных точек и скорость передачи данных до 12 Мбит/с с поддержкой групповой пересылки и операций приостановки/продолжения работы USB.

Отвечая требованиям рынка ARM-микроконтроллеров, приборы STM имеют множество встроенных таймеров-счетчиков. Каждый из стандартных таймеров включает независимый 16-разрядный счетчик с 7-разрядным предварительным делителем частоты, два входа схемы выборки и два выхода компаратора, счетчик импульсов и канал ШИМ с выбираемой частотой. 16-разрядный сторожевой таймер (Watchdog) защищает приложение от аппаратных или программных ошибок и гарантирует восстановление путем генерирования сигнала сброса. Часы реального времени (RTC) имеют интегрированный генератор 32 кГц, специальный источник опорного напряжения для батарейного питания, 32-разрядный счетчик для долгосрочного измерения и обеспечивают периодическое прерывание и сигнальное прерывание.

К системным особенностям рассматриваемой серии микроконтроллеров можно отнести наличие интерфейса с внешней памя-

тью (EM1), контроллера внешних прерываний и множество портов входа/выхода (I/O).

Интерфейс с внешней памятью с мультиплексированной шиной 16-бит данных/24-бит адресов обеспечивает до 4 внешних выбираемых банков памяти с размером адресного пространства до 16 Мбайт/банк, программируемым размером шины данных и режимом ожидания. Индивидуально программируемые для каждого банка режимы ожидания позволяют использовать для хранения программ или данных различные типы памяти (Flash, EPROM, ROM, SRAM и т. д.).

Контроллер вложенных прерываний обеспечивает быструю обработку прерываний с 32 векторами и 16 уровнями приоритетов, 2 маскируемых FIQ источников, кроме того, доступно до 14 внешних прерываний для прикладного использования или внешнего запуска приложения после состояния ожидания в режиме STOP.

Имеются стандартные порты I/O (с открытым стоком до 4 мА) и порты с высокотокковыми выводами (с открытым стоком до 8 мА). Обеспечивается двухтактная конфигурация выхода или с открытым стоком, по уровням обеспечивается TTL/CMOS совместимость. Встроенный сигма-дельта АЦП можно использовать для работы от одного до четырех мультиплексированных каналов входа с частотой выборки до 950 Гц в однократном или непрерывном режимах преобразования. Его разрешающая способность составляет 12 разрядов при типовой частоте дискретизации 0,5 кГц или 2 мс (1 кГц или 1 мс при одноканальном режиме работы). Амплитуда входного напряжения составляет от нуля до 2,5 В. Входная полоса частот до 1 кГц. Обеспечивается маскируемое прерывание. Имеется программируемый предварительный делитель. Разрешение АЦП составляет 11,5 бит ENOB.

Существенным достоинством ARM-микроконтроллеров STM по сравнению с их аналогами является экономичность, для достижения которой использовано несколько нововведений. Во-первых, это увеличенное число режимов пониженного энергопотребления. Кроме рабочего режима работы (RUN), на котором потребление тока составляет примерно 50 мА, их пять:

- Режим ожидания (WAIT), при котором приостанавливается работа ядра, но продолжается функционирование периферии с сохранением содержимого регистров. Потребление уменьшается до 12 мА;
- Замедленный режим (SLOW), при котором тактовая частота замедляется до CLK/16 или 32 кГц. В этом режиме потребление составляет порядка 3 мА;
- Режим глубокого понижения с ожиданием (LPWAIT). В этом режиме вводятся ограничения режимов WAIT и SLOW, в результате чего потребление снижается до 35 мкА;
- Режим останова (STOP). Вся синхронизация останавливается, но состояние микроконтроллера, RAM и регистров сохраняется (под-

держивается питание, нет сброса). Потребление в этом режиме составляет 14 мкА;

- Дежурный режим (STANDBY). Выключаются стабилизатор напряжения, питание ядра. Работает только RTC. Потребление составляет всего 10 мкА. Выход из этого режима осуществляется по прерыванию с RTC или по сигналам перезапуска (WAKEUP IT, Reset).

Гибкость управления электропитанием во многом определяется гибкостью управления синхронизацией, поэтому в рассматриваемых устройствах применено несколько решений для управления синхронизацией от нескольких источников. Каналами управления тактовой частотой могут служить внешний кварцевый резонатор или генератор, внутренний RC-генератор, обеспечивающий работу до 28 PLL, часы реального времени с собственным генератором 32 кГц, способные обеспечить синхронизацию всего устройства. Кроме того, обеспечивается предварительное деление тактовой частоты до 256 раз.

Разные внутренние устройства микроконтроллеров имеют разные уровни потребления. В частности, для уменьшения потребления встроенной Flash-памяти в ARM-микроконтроллерах STM предусмотрено три режима ее работы, а, следовательно, и потребления тока: пакетный, экономичный и режим выключенного питания Flash.

Еще одной особенностью ARM-микроконтроллеров STM, способствующей их эффективности, является двойственная архитектура, основанная на использовании двойственных шин периферийных устройств (APB). Наличие таких шин позволяет лучше наладить синхронизацию работы периферии. Последовательная периферия совместно использует шину APB1. Периферия реального времени и таймеры совместно используют шину APB2. При таком построении для оптимизации потребления и производительности одна шина APB может быть замедлена, в то время как вторая будет работать быстро.

Двойственность архитектуры проявляется и в наличии двух независимых внутренних стабилизаторов напряжения. Имеется основной стабилизатор напряжения (выключаемый в режиме STANDBY) и экономичный (маломощный).

Не будем забывать, что компания STM является признанным лидером в области разработки и производства микросхем памяти, в том числе и для встраиваемых устройств. Поэтому все микроконтроллеры STM оснащены Flash-памятью высочайшего класса. В ARM-микроконтроллерах имеется встраиваемая Flash-память, изготавливаемая литографией с разрешением 0,18 мкм, рассчитанная на 100 к циклов перезаписи, в составе двух банков памяти: основного размером до 256 кбайт для программного кода и вспомогательного с низкой латентностью размером 16 кбайт для данных. Наличие двух банков позволяет

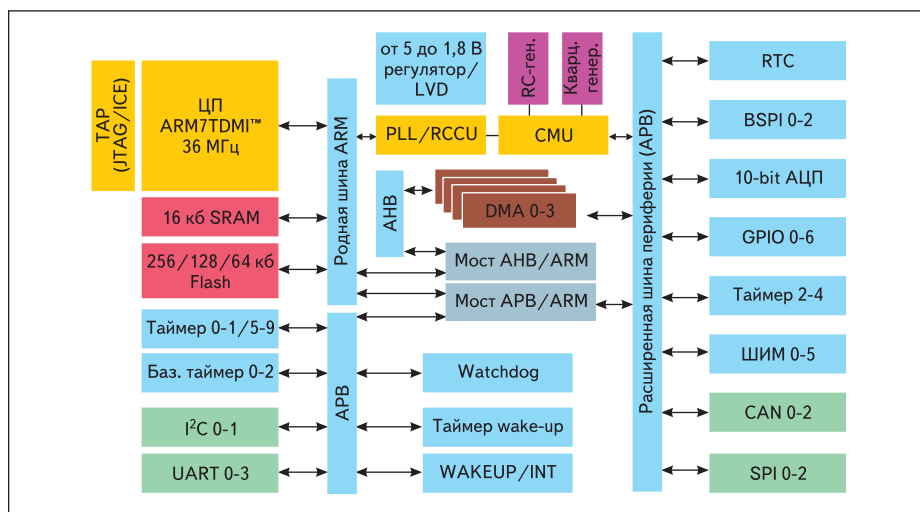


Рис. 2. Блок-схема серии микроконтроллеров STR73xFxx

обеспечить функцию чтения во время записи, т. е. считывание одного банка во время записи другого.

К основным параметрам Flash-памяти ARM-микроконтроллеров STM относятся:

- лучшее в своем классе Flash-памяти время произвольного доступа в 30 нс;
- обеспечение прямого доступа на частоте до 36 Гц для чисто детерминированного поведения;
- наличие опции аппаратной акселерации на частоте до 50 МГц (ширина Flash 64 бит);
- универсальность программирования: прикладное программирование IAP (чтение во время записи) и внутрисхемное программирование (ISP) посредством интерфейса JTAG.
- возможность секторной защиты записи для предотвращения нежелательной записи;

- наличие модульной защиты доступа для предотвращения компьютерного пиратства.

Второй серией ARM-микроконтроллеров STM, доступных в настоящее время потребителю, является серия STR73xFxx. Эта серия, в отличие от первой, в большей степени нацелена на применение в промышленных приложениях. В качестве основных платформ для применения для нее предполагаются: промышленная электроника (электрокоммутиционное оборудование, системы автоматизации, бытовая автоматизация, логические контроллеры и т. д.), электроприборы и высоковольтное оборудование переменного тока, управление электродвигателями, торговое оборудование и т. д. Поэтому в этой серии увеличено до трех число интерфейсов CAN, увеличено число последовательных интерфейсов до 12, возросли возможности по ШИМ модулям, таймерам/счет-

чиком и расширен рабочий температурный диапазон вверх до +105 °С. Вместо 12-разрядного 4-канального АЦП встроен 10-разрядный 12- или 16-канальный АЦП, и есть ряд других особенностей. Блок-схема микроконтроллеров данной серии приведена на рис. 2.

Серия STR73xFxx — это новый этап в развитии ARM-микроконтроллеров STM. Основными отличительными характеристиками данной серии являются:

- рабочая частота ядра ARM7 36 МГц — нет режима ожидания, а, следовательно, чисто детерминированная работа;
- одноканальное питание 5 В, которое является «родным» для промышленных приложений;
- до 20 таймеров, до 16 каналов ШИМ, до 3 интерфейсов CAN — самый большой набор периферии, что способствует снижению системной стоимости;
- внутренний RC-генератор (32 кГц или 2 МГц);
- до 112 портов входа/выхода общего пользования (GPIO);
- до 16 каналов прямого доступа к памяти (DMA), что снижает нагрузку центрального процессора и обеспечивает оптимизацию доступа к памяти;
- расширенный рабочий температурный диапазон: от –40 до 105 °С;
- 10-разрядный 12-ти или 16-ти канальный АЦП со временем преобразования в 3 мкс;
- встроенный загрузчик, который дает гибкость для программирования;
- корпус TQFP 100.

Сравнивая технические характеристики ARM-микроконтроллеров STM с аналогичными устройствами компаний Freescale (табл. 2), Atmel (табл. 3), Philips (табл. 4) и др., можно сделать определенные выводы.

Таблица 2. 32-Bit микроконтроллеры Freescale с ядром ARM: семейство MAC7100 для автоэлектроники

Обозначение	CPU производительность ЦП, MIPS	Рабочая частота, МГц	Питание ядра, В	Питание I/O, В	Рабочая температура, °С		Контроллер памяти	Размер Flash программ., кбайт	Размер Flash данных, кбайт	Размер RAM, кбайт	АЦП	Число GPIO	Интерфейсы шины	Скорость внешней шины, МГц	Последовательные интерфейсы	Таймеры	Другая периферия	Корпус	Статус
					Мин.	Макс.													
MAC7101	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	512	32	32	32×10 бит	112			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	Образцы
MAC7104	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	384	32	24	32×10 бит	112			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	Образцы
MAC7105	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	768	32	40	32×10 бит	112			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	
MAC7106	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	85, 105, 125	FLASH, SRAM	1024	32	48	32×10 бит	112			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	
MAC7111	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	85, 105, 125	FLASH, SRAM	512	32	32	16×10 бит	112	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	Образцы
MAC7115	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	768	32	40	16×10 бит	112	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	
MAC7116	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	85, 105, 125	FLASH, SRAM	1024	32	48	16×10 бит	112	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 144	
MAC7121	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	512	32	32	16×10 бит	85			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 112	Образцы
MAC7122	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	256	32	16	16×10 бит	85			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×3, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 112	Образцы
MAC7124	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	384	32	24	16×10 бит	85			DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	LQFP 112	Образцы
MAC7131	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	85, 125	FLASH, SRAM	512	32	32	32×10 бит	128	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	MAPBGA 208	Образцы
MAC7134	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	384	32	24	32×10 бит	128	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	MAPBGA 208	Образцы
MAC7135	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	125	FLASH, SRAM	768	32	40	32×10 бит	144	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	MAPBGA 208	
MAC7136	36, 45	40, 50	2,5	3,3; 5	-40	85, 105, 125	FLASH, SRAM	1024	32	48	32×10 бит	144	22-bit addr/16-bit data	40, 50	DSPI, ESCI×2, FlexCAN×4, FC	16×16 бит	10-кан. таймер периодич. прерываний, контроллер DMA, внутр. генератор, внутр. PLL	MAPBGA 208	

Таблица 3. ARM микроконтроллеры компании Atmel

Обозначение	Статус	Размер Flash, кбайт	Размер SRAM, кбайт	Ethernet MAC 10/100	CAN	AES и 3DES	USB устр-во	USB Хост	LCD контроллер	UART USART DBGU	10-bit АЦП, кан.	F. макс, МГц	ШИМ, кан.	Число портов I/O	10-bit ЦАП, кан.	РДС, кан.	Boot ROM, кбайт	Интерфейс внешней шины	Интерфейс SDRAM
AT91FR40162S	Образец	2048	256	—	—	—	—	—	—	2	—	75	—	32	—	4	—	1	—
AT91M40800	Производство	—	8	—	—	—	—	—	—	2	—	40	—	32	—	4	—	1	—
AT91M42800A	Производство	—	8	—	—	—	—	—	—	2	—	33	—	54	—	8	—	1	—
AT91M55800A	Производство	—	8	—	—	—	—	—	—	3	8	33	—	58	2	10	—	1	—
AT91R40008	Производство	—	256	—	—	—	—	—	—	2	—	75	—	32	—	4	—	1	—
AT91RM3400	Производство	—	96	—	—	—	1	—	—	5	—	66	—	63	—	20	256	—	—
AT91RM9200	Производство	—	16	1	—	—	1	2	—	5	—	180	—	94	—	20	128	1	1
AT91SAM7A1	Производство	—	4	—	1	—	—	—	—	3	8	40	4	49	—	11	—	1	—
AT91SAM7A2	Производство	—	16	—	4	—	—	—	—	2	16	30	4	57	—	10	—	1	—
AT91SAM7A3	Образец	256	32	—	2	—	1	—	—	4	16	60	8	62	—	19	—	—	—
AT91SAM7S128	Производство	128	32	—	—	—	1	—	—	3	8	55	4	32	—	11	—	—	—
AT91SAM7S256	Производство	256	64	—	—	—	1	—	—	3	8	55	4	32	—	11	—	—	—
AT91SAM7S32	Производство	32	8	—	—	—	—	—	—	2	8	55	4	21	—	9	—	—	—
AT91SAM7S321	Развитие	32	8	—	—	—	1	—	—	2	8	55	4	32	—	11	—	—	—
AT91SAM7S64	Производство	64	16	—	—	—	1	—	—	3	8	55	4	32	—	11	—	—	—
AT91SAM7X128	Образец	128	32	1	1	—	1	—	—	3	8	55	4	60	—	11	—	—	—
AT91SAM7X256	Образец	256	64	1	1	—	1	—	—	3	8	55	4	60	—	11	—	—	—
AT91SAM7XC128	Образец	128	32	1	1	1	1	—	—	3	8	55	4	60	—	11	—	—	—
AT91SAM7XC256	Образец	256	64	1	1	1	1	—	—	3	8	55	4	60	—	11	—	—	—
AT91SAM9261	Образец	—	160	—	—	—	1	2	1	4	—	180	—	96	—	19	32	1	1

Если для 8-разрядных приложений производители микроконтроллеров вплотную подошли к созданию универсального устройства на все случаи жизни, например, семейство микроконтроллеров µPSD STMicroelectronics, то для 32-разрядных приложений до этого еще далеко. У каждого производителя ARM-микроконтроллеров есть свои «изюминки» в области встраиваемой периферии, направ-

ленные на их использование в тех или иных конкретных прикладных приложениях. В основном это можно объяснить нацеленностью компаний на те или иные секторы рынка приложений для разрабатываемых устройств.

Компания STMicroelectronics исторически ориентировалась на сектор изделий для массового потребления, поэтому, отвечая по-

требностям этой части рынка электронных компонентов, она внедрила в свои ARM-микроконтроллеры интерфейсы Smart-Card, BSPI, USB и HDLC, а для промышленных приложений резко увеличила число ШИМ-модулей, таймеров и последовательных интерфейсов.

Компания Freescale всегда была сильна своими предложениями для автоэлектроники,

Таблица 4. 16/32-разрядные микроконтроллеры Philips с ядром ARM7TDMI-S (1.8V): семейство LPC2000

Обозначение	Размер памяти, кбайт		Таймеры/Счетчики			Модуль ШИМ		Число I/O	Последовательные интерфейсы				АЦП, кан./бит	Прерывания (внеш.)	Max F., МГц	Корпус
	Flash	RAM	32-bit таймеры	Сбор	Сравнен.	32-bit таймеры	Кан.		UART	I ² C	SPI	CAN				
LPC2294	256	16	4*	8	8	1	6	112	2	1	2	4	8/10	19(4)/16	60	LQFP144
LPC2292	256	16	4*	8	8	1	6	112	2	1	2	2	8/10	19(4)/16	60	LQFP144
LPC2290	Внешн.	16	4*	8	8	1	6	76	2	1	2	2	8/10	19(4)/16	75	LQFP144
LPC2214	256	16	4*	8	8	1	6	112	2	1	2	—	8/10	19(4)/16	60	LQFP144
LPC2212	128	16	4*	8	8	1	6	112	2	1	2	—	8/10	19(4)/16	60	LQFP144
LPC2210	Внешн.	16	4*	8	8	1	6	76	2	1	2	—	8/10	19(4)/16	60	LQFP144
LPC2220	Внешн.	64	4*	8	8	1	6	76	2	1	2	—	8/10	19(4)/16	60	TSSOP28, HVQFN28, PLCC28
LPC2194	256	16	4*	8	8	1	6	46	2	1	2	4	4/10	19(4)/16	60	LQFP64
LPC2148	512	40	4*	8	8	1	6	45	2	2	2	—	8/10	23(4)/16	60	LQFP64
LPC2146	256	40	4*	8	8	1	6	45	2	2	2	—	8/10	23(4)/16	60	LQFP64
LPC2144	128	16	4*	8	8	1	6	45	2	2	2	—	8/10	23(4)/16	60	LQFP64
LPC2142	64	16	4*	8	8	1	6	45	2	2	2	—	8/10	23(4)/16	60	LQFP64
LPC2141	32	8	4*	8	8	1	6	45	2	2	2	—	8/10	23(4)/16	60	LQFP64
LPC2138	512	32	4*	8	8	1	6	47	2	2	2	—	2×8/10	22(4)/16	60	LQFP64
LPC2136	256	32	4*	8	8	1	6	47	2	2	2	—	2×8/10	22(4)/16	60	LQFP64
LPC2134	128	16	4*	8	8	1	6	47	2	2	2	—	2×8/10	22(4)/16	60	LQFP64
LPC2132	64	16	4*	8	8	1	6	47	2	2	2	—	8/10	22(4)/16	60	LQFP64 и HVQFN64
LPC2131	32	8	4*	8	8	1	6	47	2	2	2	—	8/10	22(4)/16	60	LQFP64
LPC2129	256	16	4*	8	8	1	6	46	2	1	2	2	4/10	19(4)/16	60	HVQFN64, LQFP64
LPC2119	128	16	4*	8	8	1	6	46	2	1	2	2	4/10	19(4)/16	60	HVQFN64, LQFP64
LPC2124	256	16	4*	8	8	1	6	46	2	1	2	—	4/10	19(4)/16	60	HVQFN64, LQFP64
LPC2114	128	16	4*	8	8	1	6	46	2	1	2	—	4/10	19(4)/16	60	HVQFN64, LQFP64
LPC2106	128	64	4*	7	7	1	6	32	2	1	1	—	—	16(3)/16	60	LQFP48
LPC2105	128	32	4*	7	7	1	6	32	2	1	1	—	—	16(3)/16	60	LQFP48
LPC2104	128	16	4*	7	7	1	6	32	2	1	1	—	—	16(3)/16	60	LQFP48
LPC2103	32	8	6	8	8	1	14	32	2	2	2	—	8/10	19(3)/16	70	LQFP48
LPC2102	16	4	6	8	8	1	14	32	2	2	2	—	8/10	19(3)/16	70	LQFP48
LPC2101	8	2	6	8	8	1	14	32	2	2	2	—	8/10	19(3)/16	70	LQFP48

* включая таймер Watchdog и часы реального времени

16-bit таймеры	RTC	RTT	Таймер интервала	SPI	SSC	TWI	MCI	Таймер Watchdog	Роль-Он-Reset	Brown Out Detector	Внутр. АС-генератор	Кварц генератор	PLL	Ядро ЦП	MMU/MPU	Питание ядра, В	Питание I/O, В	Корпуса
3	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	ARM7TDMI	—	1,65–1,95	2,7–3,6	TFBGA 121
3	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	ARM7TDMI	—	1,8–3,6	1,8–3,6	LQFP 100
6	—	1	1	2	—	—	—	1	—	—	—	1	2	ARM7TDMI	—	2,7–3,6	2,7–5,5	LBGA 144 LQFP 144
6	1	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	2	1	ARM7TDMI	—	2,7–3,6, Analog	2,7–5,5	LFBGA 176 LQFP 176
3	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	ARM7TDMI	—	1,65–1,95	2,7–3,6	LQFP 100
6	1	1	1	1	3	1	1	1	—	—	—	2	2	ARM7TDMI	MPU	1,65–1,95	1,65–3,6	LQFP 100
6	1	1	1	1	3	1	1	1	—	—	—	2	2	ARM920T	MMU	1,65–1,95	1,65–3,6	LFBGA 256 PQFP 208
9	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	2	1	ARM7TDMI	—	3,0–3,6, Analog	3,0–5,5	LQFP 144
10	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	2	1	ARM7TDMI	—	3,0–3,6, Analog	3,0–5,5	LQFP 176
9	—	1	1	2	2	1	1	1	1	—	1	1	1	ARM7TDMI	MPU	—	3,0–3,6	LQFP 100
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 64
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 64
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 48
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 64
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 64
3	—	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 100
3	—	1	1	2	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 100
3	—	1	1	2	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 100
3	—	1	1	2	1	1	—	1	1	1	1	1	1	ARM7TDMI	—	—	3,0–3,6	LQFP 100
3	—	1	1	2	3	1	1	1	1	—	—	2	2	ARM926EJ-S	MMU	1,08–1,32	1,65–3,6	LFBGA 217

и не случайно ее первое семейство микроконтроллеров ARM оборудовано четырьмя CAN интерфейсами. Это единственная компания, в которой на настоящий момент есть ARM-микроконтроллеры с рабочей температурой до +125 °С.

Микросхемы компании Atmel широко используются в телекоммуникационном оборудовании, и она одной из первых начала встраивать в свои ARM-микроконтроллеры модули Ethernet MAC 10/100. У нее же можно найти и микроконтроллер не только с АЦП, но и с ЦАП. Здесь надо сказать, что уже большинство производителей отказалось выпускать микроконтроллеры с ЦАП ради удешевления микросхем и в связи с тем, что большинство задач аналогового управления решается на основе использования модулей ШИМ вместо ЦАП.

Компания Philips одна из первых освоила производство ARM микроконтроллеров и последовательно расширяет их семейство. По сравнению с STM, в устройствах Philips менее разнообразна периферия, которая «посажена» на общую шину, больше время доступа к Flash-памяти (50 мс), менее гибкое энергопотребление, но есть версии с ЦАП, с 4 CAN и облегченные версии в корпусах с 48 и даже 28 выводами.

Несмотря на краткость проведенного сравнения технических характеристик ARM-микроконтроллеров различных фирм, можно сделать вывод о том, что ARM-микроконтроллеры компании STM ни в чем не уступают, а по некоторым позициям превосходят аналогичные устройства других производителей.

Возвращаясь к вопросу о выборе микроконтроллера, необходимо заметить, что кроме технических характеристик, надо иметь в виду и некоторые другие аспекты.

Во-первых, это сочетание технических возможностей микроконтроллера и его систем-

ной стоимости, с учетом спецификации всех компонентов и особенностей технологического процесса. Например, в 32-разрядных приложениях, чем больше технических возможностей микроконтроллера, тем большее число выводов у его корпуса, и с учетом требований низкопрофильности и миниатюрности компонентов, производители упаковывают такие устройства в корпуса типа BGA с шариковыми выводами или просто с матрицей точечных контактов. В настоящее время еще не все российские предприятия готовы работать с такими корпусами. Применение для монтажа таких корпусов многослойных плат и особая тщательность разводки дополнительно увеличивают системную стоимость. Стоимость монтажа прибора в корпусе BGA намного выше, чем в корпусах QFP.

Во-вторых, это поддержка микроконтроллера не только аппаратно-программными средствами разработки, но и доступными библиотеками программного обеспечения

встроенной периферии. Как отмечалось выше, аппаратно-программные средства для всех рассмотренных микроконтроллеров разных фирм однотипные. Различие только в оценочных платах с установленными на них соответствующими микроконтроллерами.

Благодаря тесному партнерству компаний STM и ARM, микроконтроллеры STM обеспечены недорогим оценочным комплектом ARM RealView®, специально предназначенным для серии STR7xx. В состав этого комплекта входит популярное программное обеспечение ARM RealView Developer Suite® и соответствующее техническое оборудование. Перечень доступных отладочных средств, которые поставляются через дистрибьюторов ST, представлен в таблице 5.

Вопрос о доступности библиотек программного обеспечения периферии более сложен. Чаще всего, он связан с подписанием соответствующих соглашений и дополнительными затратами. И в этом отношении

Таблица 5. Средства поддержки микроконтроллеров STR7

Обозначение	Описание
Стартовые комплекты (Starter kits)	
STR711-SK/IAR STR712-SK/IAR STR730-SK/IAR	Комплект для быстрого старта от IAR, включающий IAR embedded workbench для ARM (EWARM – версия с ограничением размера кода в 32 К), внутрисхемный эмулятор J-Link (USB/JTAG), а также демонстрационные платы IAR
STR71x-SK/RAIS	Стартовый комплект REva от Raisonance, включающий RIDE (версия с ограничением размера кода в 16 К) с компилятором GNU C/C++, отладчик, внутрисхемный эмулятор RLink (USB/JTAG), демонстрационная материнская и дочерняя платы для STR711F и STR712
STR730-SK/RAIS	Стартовый комплект REva от Raisonance, включающий RIDE (версия с ограничением размера кода в 16 К) с компилятором GNU C/C++, отладчик, внутрисхемный эмулятор RLink (USB/JTAG), демонстрационная материнская и дочерняя платы для STR730F
STR710-SK/HIT	Стартовый комплект ARM от Hitex, включающий HiTOP5 (версия с ограничением размера кода в 16 К) с компилятором GNU C/C++, отладчик, внутрисхемный эмулятор Tantino (USB/JTAG), оценочная плата для STR710F
STR730-SK/HIT	Стартовый комплект ARM от Hitex, включающий HiTOP5 (версия с ограничением размера кода в 16 К) с компилятором GNU C/C++, отладчик, внутрисхемный эмулятор Tantino (USB/JTAG), оценочная плата для STR730F
Оценочная плата развития	
STR710-EVAL	Оценочная плата развития для серии STR71xF
STR730-EVAL/WS	Оценочная плата развития для серии STR73xF с сокетом для микроконтроллера
Программное обеспечение RVDK	
STR7-RVDK	Комплект разработчика ARM RealView для ST и ARM7TM, включающий технические средства RealView ICE Micro Edition. Без ограничений по времени
STR7-RVDK/BAS	Комплект разработчика ARM RealView для ST. Базовая версия для ARM7 с техническими средствами RealView ICE Micro Edition. Лицензия на год и меньшая стоимость
STR-RVCE/ME	Технические средства эмулятора RealView ICE Micro Edition с предварительной версией на CD (оценочная версия на 45 дней)
STR-RVDK/CPP	Факультативная поддержка C++

обеспеченность ARM микроконтроллеров STM вне конкуренции. На специализированном сайте компании STM, посвященном микроконтроллерам, их применению и поддержке разработчиков, <http://mcu.st.com>, кроме описаний микроконтроллеров, примеров их применения и другой литературы, для разработчиков свободно доступна для копирования вся библиотека программ на языке Си для всех периферийных устройств. Для каждой серии имеется два пакета программ: стандартная библиотека и библиотека для USB. Для каждого встроенного периферийного ус-

тройства имеется пример применения. Библиотеки абсолютно независимы от используемого программного обеспечения, работают с платами развития для микроконтроллеров STM, но могут быть легко приспособлены к другим аппаратным средствам.

Каковы перспективы развития 32-разрядных ARM микроконтроллеров? Высокая экономичность и хорошая рентабельность микроконтроллерных ядер ARM позволяют надеяться, что рыночный спрос на микросхемы на их основе будет постоянно возрастать в самых разнообразных областях применения.

Так, компания Freescale уже приступила к производству нового семейства ARM микроконтроллеров для применения в сотовых телефонах. Некоторые из производителей (например, Atmel) начали производство микроконтроллеров на основе ядра ARM9, а другие, в том числе и STM, планируют их производство уже в текущем году. А это означает, что производительность микроконтроллеров вырастет до 80 MIPS на частоте до 100 МГц, встроенный модуль Ethernet MAC станет нормой, появятся новые встроенные интерфейсы и новые возможности. ■