

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ Atmel SAM D – Cortex-M0+: ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Б.Сидоренко sby@rtcs.ru

В последнее время ARM-микроконтроллеры стремительно захватывают рынок микроэлектроники. Использование совместимых между собой архитектур с различными уровнями производительности предоставляет широкие возможности разработчику при выборе решений для нового проекта или технологической платформы. История встраиваемых микропроцессорных RISC-ядер ARM началась в 1991 году с выпуска давно забытой архитектуры ARM6. В 2000-е годы широкое распространение получили микроконтроллеры и микропроцессоры на базе архитектур ARM7, ARM9 и ARM11, используемые и поныне. Сегодня для разработки новых электронных устройств наиболее востребованы микроконтроллеры и микропроцессоры на базе ядра Cortex: Cortex-M0, -M3 и -M4 (M – microcontroller, цифровой индекс – уровень производительности ядра). Самая младшая архитектура M-серии – Cortex-M0 – обладает лучшими характеристиками по энергопотреблению среди ядер Cortex и позволяет создавать современные 32-разрядные микроконтроллеры, по цене сравнимые и даже более дешевые, чем 8-, 16-разрядные устройства. И вслед за многими другими производителями компания Atmel в июне 2013 года анонсировала первую серию микроконтроллеров общего применения SAM D20 на базе архитектуры Cortex-M0+.

Производители микроконтроллеров (МК) в погоне за скорейшим выводом нового продукта на рынок вынуждены балансировать между затратами времени на отладку набора периферии и улучшение архитектур на базе ARM-ядра и потенциальной опасностью потерять долю рынка, определяемую постоянными клиентами, которым готовые устройства нужны "здесь и сейчас" [1]. Однако некоторые производители МК, понимая, что потребители за последние годы высоко оценили многие достоинства 8-разрядных микрокон-

троллеров (например, пониженное энергопотребление и улучшенную развитую периферию), более серьезно подошли к разработке платформ на базе ядра Cortex-M0. И компания Atmel – один из них.

Приступая к созданию новых устройств на базе Cortex-M0, разработчики Atmel проанализировали более чем 20-летний опыт разработки 8-разрядных (AVR, 8051) и 17-летний опыт разработки 32-разрядных ARM-контроллеров. Был сделан вывод, что большая доля инноваций в сфере 8-разрядных МК – AVR tiny, Mega и Xmega – должна быть перенесена и в новые устройства на базе Cortex-M0.

В качестве примера можно рассмотреть пользующуюся популярностью у инженеров периферийную систему событий (Event System), ранее реализованную в микроконтроллерах AVR Xmega. Она предполагает взаимодействие периферийных устройств между собой без участия ЦПУ или шинных ресурсов, что разгружает ядро от второстепенных задач и значительно повышает эффективность исполнения основного кода. Экономия энергии – другая особенность, которую высоко оценили потребители. Пониженное энергопотребление достигается использованием маломощных осцилляторов, возможностью выбора источника тактирования, предделением частоты в дополнение к энергосберегающей технологии Sleep Walking и улучшением последовательной коммуникационной периферии, которая позволяет сохранять данные до выхода из режимов "глубокого сна".

Результат объединения инноваций компании Atmel в области решений на базе ARM- и AVR-контроллеров – высокая производительность и низкое энергопотребление нового семейства микроконтроллеров SAM D20. Производительность составляет 2,14 CoreMark/МГц (CoreMark – стандартный тест для определения производительности процессоров, разработанный консорциумом Embedded Microprocessor Benchmark Consortium (EEMBC), доступен на сайте www.coremark.org). Потребление в активном режиме – менее 120 мкА/МГц при исполнении кода теста Coremark, оно может быть снижено до 70 мкА/МГц при выполнении кода других алгоритмов (это меньше, чем у большинства конкурирующих изделий). В режиме "глубокого сна" с сохранением данных в ОЗУ потребление снижается до значений менее 3,5 мкА. Для сравнения – другие подобные устройства, представленные на рынке микроконтроллеров, в активном режиме потребляют от 200 до 400 мкА/МГц при той же производительности и выполнении аналогичных задач. Отчасти эти преимущества обусловлены и выбором компанией Atmel более новой и продвинутой архитектуры ядра ARM – Cortex-M0+ (рис.1), которая в отличие от стандартной (Cortex-M0) имеет более высокую производительность и пониженное энергопотребление.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕРИИ SAM D20

Эта серия микроконтроллеров (SAM D20E, SAM D20G и SAM D20J) на базе ядра Cortex-M0 была анонсирована Atmel в июне 2013 года и запущена в серийное производство в четвертом квартале прошедшего года. МК отличаются набором периферии и выпускаются в корпусах с разным числом выводов



Рис.1. Блок-схема ядра ARM Cortex-M0+

(табл. 1). При этом все микроконтроллеры содержат 8-канальную систему событий, упомянутую выше, до шести универсальных коммуникационных модулей SERCOM (конфигурируются как I²C, USART и SPI), периферийный сенсорный контроллер PTC (Peripheral Touch Controller), обеспечивающий управление емкостными сенсорами касания, 12-разрядный АЦП производительностью 350 квыб./с и 10-разрядный ЦАП.

Микроконтроллеры серии SAM D20 выпускаются в 32-, 48- и 64-выводных корпусах QFN и TQFP. Все микроконтроллеры серии полностью совместимы по коду и по выводам, что обеспечивает широкие возможности масштабирования системы. При этом обеспечиваются значительные преимущества по стоимости и производительности МК SAM D20 перед традиционными 8-разрядными и многими 32-разрядными микроконтроллерами других производителей на базе стандартного ядра Cortex-M0.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ SAM D20

Рассмотрим более подробно ключевые особенности SAM D20. Как упоминалось ранее, система событий дает возможность периферийным устройствам взаимодействовать между собой без участия ЦПУ. Эта сеть маршрутизации не зависит от традиционной шинной структуры. Различные триггеры на периферийном уровне могут вызывать события. Например, "тик" таймера приводит к реакции в другом периферийном устройстве.

Фиксированная задержка системы событий, состоящей из восьми независимых каналов, составляет всего лишь два такта. Система событий – это на 100% предсказуемый метод передачи сигнала, он идеально подходит для приложений реального времени. Даже если процессор в данный момент занят обработкой немаскируемого прерывания, ни одно событие не будет пропущено, а работа с ним на периферийном уровне займет всего два такта. Традиционным способом обработки каких-либо действий в приложениях с пониженным энергопотреблением являются прерывания, а они всегда требуют участия процессора. Как пример рассмотрим управление электроприводом с использованием ШИМ. Для измерения тока, поступающего на электропривод, в большинстве случаев применяется аналоговый компаратор или АЦП. В случае превышения допустимых значений тока каналы ШИМ, которые управляют приводом, выключаются во избежание повреждения схемы и по соображениям безопасности. Без использования системы событий превышение током заданных значений вызовет прерывание, обработка которого будет отложена, если процессор в данный момент занят более приоритетными задачами. При помощи системы событий можно соединить выход аналогового компаратора или АЦП с таймером и выключить его в нужный момент всего лишь за два такта независимо от занятости процессора.

Данный подход имеет преимущества: снижение потребляемой мощности, разгрузка ЦПУ от выполнения дополнительных задач (обработки возникающих событий), достижение предсказуемого

времени отклика на возникающие события. Последнее наиболее актуально для приложений реального времени, требующих гарантированного и определенного времени отклика на внешние события (например, промышленные устройства безопасности). Кроме того, использование системы событий будет актуально там, где можно снизить потребление энергии за счет реакции периферии на внешние воздействия без участия ЦПУ.

Другая важная особенность новых микроконтроллеров Atmel – гибко настраиваемые последовательные коммуникационные модули SERCOM. Каждый модуль программно может быть сконфигурирован как SPI, UART/USART или I²C. Такая организация дает разработчику возможность настраивать интерфейсы в соответствии с потребностями конкретного применения. Это позволяет не только, во-первых, сэкономить время на поиски подходящего контроллера, но и, во-вторых, заложить один и тот же микроконтроллер в несколько аналогичных устройств, которые незначительно отличаются числом требуемых последовательных интерфейсов. Ко второму плюсу можно отнести и разработку печатной платы: существенно облегчается ее трассировка, а также уменьшается длина печатных проводников, что в свою очередь снижает шумы. Каждый модуль SERCOM имеет несколько опций цоколевки. В микроконтроллерах серии SAMD20 интерфейс I²C поддерживает скоростной режим до 400 кГц, в то время как UART и SPI передают данные со скоростями до 24 Мбит/с. Последовательные коммуникационные модули могут быть подсоединены к системе событий, о которой говорилось выше. В зависимости от требований приложения каждый

Таблица 1. Характеристики микроконтроллеров серии SAM D20

Характеристики	SAM D20E 32 вывода	SAM D20G 48 выводов	SAM D20J 64 вывода
Флеш-память, Кбайт	16–256	16–256	16–256
СОЗУ, Кбайт	2–32	2–32	2–32
Система событий	8 каналов	8 каналов	8 каналов
SERCOM (I ² C, USART, SPI)	4	6	6
Таймер/счетчик	6	6	8
12-разрядный АЦП, 350 квыб./с	10 каналов	14 каналов	20 каналов
10-разрядный ЦАП, 350 квыб./с	1 канал	1 канал	1 канал
GPIO	26	38	52
Каналы емкостных сенсоров	До 60	До 120	До 256

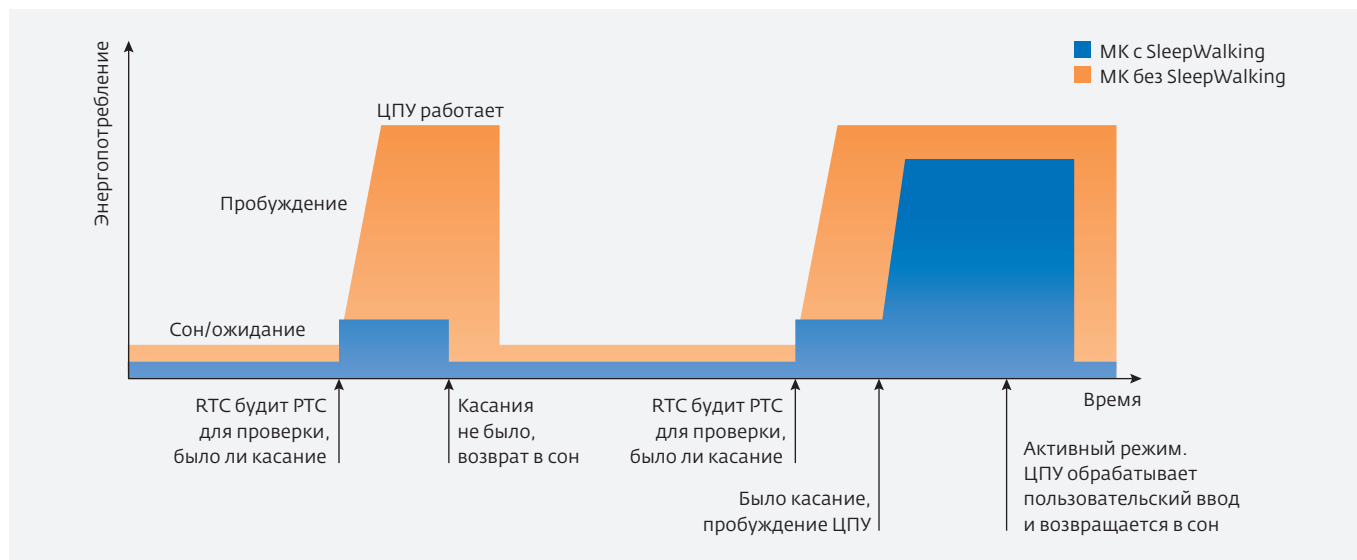


Рис.2. Пример тактирования РТС по технологии SleepWalking

модуль SERCOM может быть переконфигурирован "на лету", без остановки работы программы.

Надо отметить энергосберегающую технологию SleepWalking, разработанную специалистами компании Atmel. Технология объединяет в себе различные приемы, один из которых – гибкая система тактирования периферии. В спящем режиме основное тактирование останавливается, а периферия, которая поддерживает SleepWalking, запрашивает тактирование индивидуально, этот процесс получил название "тактирование по запросу". Оно остается включенным, пока запросившее его периферийное устройство не завершит ту или иную операцию (рис.2). К "умной" периферии относятся аналоговые компараторы и периферийный сенсорный контроллер РТС (Peripheral Touch Controller).

Надо отметить также, что специалисты Atmel, имея большой опыт в создании МК управления сенсорным интерфейсом касания maxTouch, добавили в новые устройства SAM D20 периферийный сенсорный контроллер. Он может использоваться для реализации сенсорных кнопок, ползунков, колесиков на базе емкостных сенсоров касания, а также работать в режиме Proximity (распознавания приближения объекта). Контроллер имеет матричную организацию, поддерживает до 256 каналов. Обеспечивая превосходные характеристики подавления шумов и чувствительности наряду со способностью самокалибровки, РТС наделяет SAMD20 встроенными (аппаратными) уникальными возможностями управления емкостными сенсорами касания.

РАЗВИТИЕ СЕМЕЙСТВА SAM D

Не останавливаясь на достигнутом, компания Atmel продолжает развивать сегмент микроконтроллеров на базе ядра Cortex-M0+. В феврале 2014 года были анонсированы три новые серии: SAM D21, SAM D11, SAM D10 [2]. Они расширили существующую линейку с 15 до 35 устройств и установили новые стандарты гибкости, функциональности, совместимости и простоты использования. Сегодня, когда все большее количество разрабатываемых устройств становится "умнее" и требует наличия разных интерфейсов передачи данных, разработчики заинтересованы в микроконтроллерах, обладающих обширным набором интерфейсов и широкими коммуникационными возможностями для применения в новых изделиях промышленной, потребительской и медицинской техники. Микроконтроллеры SAM D21, SAM D11 и SAM D10 выпускаются в миниатюрных корпусах, имеют высокую производительность, малое энергопотребление, широкие коммуникационные возможности и обеспечивают разработчикам оптимальное соотношение цена/производительность.

Микроконтроллеры серии SAM D21 (табл.2), по сравнению с МК SAM D20, дополнительно имеют интерфейсы USB 2.0 Full Speed (Host и Device) и I²S, контроллер прямого доступа к памяти (DMA), таймеры/счетчики, оптимизированные для систем управления, и последовательный отладочный интерфейс SWD для удобной отладки приложений. Контроллер высокоскоростного интерфейса I²C поддерживает протоколы SMBus и PMBus, а универсальный асинхронный приемопередатчик UART

с автоматической установкой скорости передачи данных – стандарт IrDA. В то же время в микроконтроллерах SAM D21 увеличено количество каналов системы событий, что позволило сохранить преимущество по производительности, несмотря на возросшее число периферийных модулей.

Источником тактового сигнала для USB-интерфейса может служить внутренний RC-генератор, что значительно упрощает схему и сокращает количество внешних компонентов. Как следствие – меньшая площадь печатной платы, упрощение разработки аппаратной части, снижение себестоимости конечного устройства. Если же USB в приложении не требуется, его выводы могут быть сконфигурированы для использования в качестве GPIO.

Микроконтроллеры серии SAM D21 доступны в 32-, 48- и 64-выводных корпусах типов QFN и TQFP и полностью совместимы по выводам с устройствами серии SAM D20, поддерживая при этом все новые функции, перечисленные выше.

Микроконтроллеры серий SAM D11 и SAM D10 выпускаются в меньших корпусах и имеют менее развитую периферию по сравнению с МК SAM D21, но обеспечивают высокую производительность и низкое энергопотребление. При этом по цене они сопоставимы с 8-разрядными микроконтроллерами, но предоставляют разработчикам

полнофункциональное 32-разрядное ядро Cortex-M0+ и достаточный набор коммуникационных интерфейсов. Основные характеристики серий SAM D11 и SAM D10 приведены в табл.3.

Все микроконтроллеры семейства SAM D совместимы по выводам (в одинаковых корпусах) и коду, что расширяет выбор подходящей компонентной базы при разработке новых электронных устройств.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Устройства семейства SAM D – это микроконтроллеры общего применения и, благодаря наличию множества коммуникационных интерфейсов, низкому энергопотреблению, производительному 32-разрядному ядру Cortex-M0+, могут применяться в широком спектре изделий промышленной и потребительской электроники. Например, в системах промышленного контроля, человеко-машинных интерфейсах, в беспроводных сетях, интерактивных игрушках, бытовой технике, приставках цифрового телевидения, системах управления электродвигателями, в освещении, медицинской технике и т.д. В то же время, используя гибко настраиваемые SERCOM модули, разработчики могут добиться унификации компонентной базы своих серийных изделий, что благотворно скажется на себестоимости и скорости разработки.

Таблица 2. Характеристики микроконтроллеров серии SAM D21

Характеристики	SAM D21E 32 вывода	SAM D21G 48 выводов	SAM D21J 64 вывода
Флеш-память, Кбайт	32–256	32–256	32–256
СОЗУ, Кбайт	4–32	4–32	4–32
Система событий	12 каналов	12 каналов	12 каналов
Контроллер DMA	12 каналов	12 каналов	12 каналов
SERCOM (I ² C, USART, SPI)	4	6	6
I ² S	2 канала	2 канала	2 канала
USB 2.0 Full Speed (Host/Device)	1	1	1
Таймер/счетчик	3	3	5
Таймер/счетчик для систем управления	3	3	3
12-битный АЦП, 350 квыб./с	10 каналов	14 каналов	20 каналов
10-битный ЦАП, 350 квыб./с	1 канал	1 канал	1 канал
GPIO	26	38	54
Каналы емкостных сенсоров	До 48	До 144	До 256

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ И ОТЛАДКИ

Продолжая сложившиеся традиции, компания Atmel предлагает для разработки и отладки изделий на базе микроконтроллеров SAM D недорогие оценочные платы серии Xplained Pro – ATSAM20-XPRO (рис.3) и ATSAM21-XPRO для серий SAM D20 и SAM D21 соответственно. Эти платы уже содержат встроенный программатор/отладчик. Все, что нужно для начала работы с ними, – это провод micro USB для подключения к ПК. На платах установлены старшие контроллеры в 64-выводных корпусах с максимальным объемом флеш-памяти 256 Кбайт, что позволяет разрабатывать и отлаживать код для любого микроконтроллера семейства. Также платы имеют выход программатора для работы со сторонним устройством. Таким образом, не требуется покупать внешний программатор для отладки кода в собственном изделии на этапе макетирования. Дополнительно Atmel предлагает дешевые платы расширения, подключаемые к трем внешним разъемам базовой оценочной платы, на которые выведены порты ввода/вывода микроконтроллера. Эти платы значительно расширяют функционал отладочной системы и позволяют разрабатывать и отлаживать ПО для широкого диапазона применений. Платы расширения

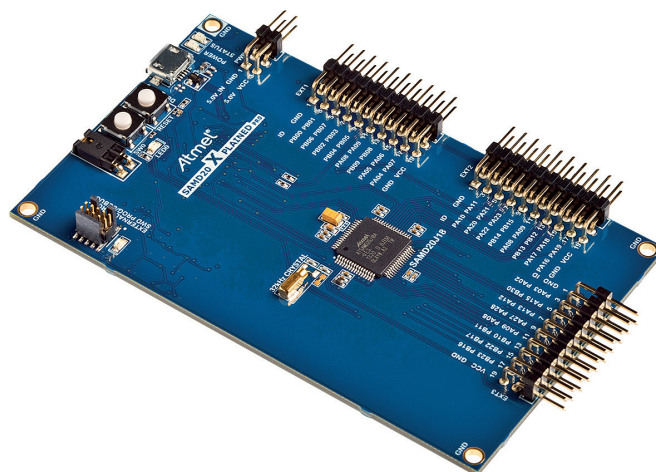


Рис.3. Оценочная плата ATSAM20-XPRO

можно приобрести как отдельно, так и в составе стартового комплекта вместе с базовой платой.

Современная версия бесплатной среды разработки Atmel Studio 6 поддерживает все новые микроконтроллеры и оценочные платы семейства SAM D так же, как и программные продукты от Keil, IAR и GCC. Бесплатная библиотека кода Atmel Software Framework (ASF) содержит множество стандартных блоков ПО, что позволяет разработчикам

Таблица 3. Характеристики микроконтроллеров серий SAM D11 и SAM D10

Характеристики	SAM D10C SAM D11C 14 выводов	SAM D10D SAM D11D 20 выводов	SAM D10D SAM D11D 24 вывода
Флеш-память, Кбайт	8–16	8–16	8–16
СОЗУ, Кбайт	4	4	4
Система событий	6 каналов	6 каналов	6 каналов
Контроллер DMA	6 каналов	6 каналов	6 каналов
SERCOM (I ² C, USART, SPI)	2	3	3
USB 2.0 Full Speed (Device)	SAM D11	SAM D11	SAM D11
Таймер/счетчик	2	2	2
Таймер/счетчик для систем управления	1	1	1
12-битный АЦП, 350 квыб./с	8 каналов	8 каналов	10 каналов
10-битный ЦАП, 350 квыб./с	1 канал	1 канал	1 канал
GPIO	12	18	22
Каналы емкостных сенсоров	До 12	До 42	До 72

сконцентрироваться на собственном приложении и не терять время на драйверы и стеки низкого уровня. ASF интегрирована в среду Atmel Studio 6 и имеет графический интерфейс для упрощения применения. Для инженеров же, не желающих применять Atmel Studio, библиотека доступна отдельно и может использоваться с компиляторами GCC, IAR и Keil.

В дополнение надо отметить, что разработчики, применяющие микроконтроллеры AVR, смогут использовать для SAM D те же аппаратные средства, что и для AVR. Для работы с отладочным комплектом STK600 потребуется лишь докупить мезонинные платы для установки контроллеров SAM D. Поддержка микроконтроллеров ARM Cortex-M0+, -M3 и -M4 (помимо AVR и AVR32) уже добавлена в отладчик JTAGICE3. Для отладчика, купленного ранее, потребуется лишь обновить ПО с помощью Atmel Studio. Также в этом году Atmel вывела на рынок новый универсальный отладчик для всех своих 8-разрядных (AVR) и 32-разрядных (AVR32 и Cortex-M) микроконтроллеров – Atmel-ICE.

* * *

Итак, в текущем 2014 году компания Atmel формирует полноценное семейство микроконтроллеров Cortex-M0+ – МК SAM D. Семейство полностью перекрывает пробел между

8-разрядными AVR tiny, mega- и Xmega-контроллерами и более производительными 32-разрядными контроллерами Cortex-M3 и -M4, привнося на рынок новые стандарты качества, производительности и энергопотребления.

Новые микроконтроллеры SAM D, благодаря продвинутому ядру Cortex-M0+ и реализованным инновациям, обеспечивают меньшее энергопотребление и более высокую производительность, чем большинство конкурирующих МК, при сопоставимой и даже меньшей стоимости. Большой диапазон объема встроенной флеш-памяти и разное число выводов корпуса, сбалансированный набор периферии и совместимость по выводам в пределах серий обеспечивают разработчикам широкий выбор микроконтроллеров семейства SAM D при разработке новых изделий электронной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.Eieland. Bringing the best of microcontroller innovations to new Cortex-M0+ devices" (перевод Ивановой А.А., Rainbow Electronics). www.atmel.com/Images/45047B_SAM-D-Family-Eieland_Article_021214.pdf.
2. Atmel SAM D Family, ревизия A, февраль 2014, с.8. www.atmel.com/Images/45037B_SAM%20D%20Family_E_US_021014_Web.pdf.

