

УДК 621.03

П. МПАНДО¹, А.А. ОРЕХОВ², В.С. ХАРЧЕНКО²¹*ST Microelectronics, Франція*²*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

СЕМЕЙСТВО МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32: АРХИТЕКТУРА, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Проведен обзор нового семейства 32-разрядных FLASH микроконтроллеров фирмы STMicroelectronics, основанных на ядре ARM Cortex M3. Анализируются особенности их архитектуры для обеспечения повышенной производительности, увеличения плотности кода и уменьшения энергопотребления, средства разработки и области применения микроконтроллеров.

микроконтроллер, архитектура, ядро, набор инструкций, энергопотребление, оценочная плата, набор разработчика.

Введение

Постановка задачи. В последние годы наряду с 8- и 16-разрядными микроконтроллерами стремительно развивается сегмент 32-разрядных схем. Рынок встраиваемых приложений требует микроконтроллеров, сочетающих в себе высокую производительность и малое энергопотребление при низкой цене. Именно поэтому фирма STMicroelectronics (STM) [1] предложила новое семейство 32-битных микроконтроллеров с ядром ARM Cortex M3, удовлетворяющее этим требованиям. В работах [1 – 3] анализируются некоторые особенности семейства микроконтроллеров STM.

Благодаря новому ядру удалось также повысить надежность и расширить круг их применений, включая системы критического применения (авиация, медицина, энергетика и др.).

Цель работы: анализ характеристик и определение сфер и возможностей применения нового семейства 32-разрядных микроконтроллеров на основе ядра ARM Cortex M3.

Анализ архитектуры STM32

Архитектура семейства 32-разрядных МК STM32 на основе ядра ARM Cortex M3 имеет много новых решений. Благодаря измененному

набору инструкций Thumb-2 удалось повысить производительность и улучшить плотность программного кода. За счет применения контроллера вложенных прерываний сократилось время реакции на внешние события.

Семейство 32-разрядных МК на основе ядра ARM Cortex M3 представлено двумя линейками:

- STM32F103 (Performance – Производительная линейка) с тактовой частотой до 72МГц;
- STM32F101 (Access – Доступная линейка) с тактовой частотой до 36МГц.

Основные характеристики микроконтроллеров данного семейства приведены в табл. 1.

Общими для двух линеек являются программная совместимость, объем встроенной флэш-памяти, совместимость по выводам, встроенный и внешний тактовый генератор. Отличаются они набором периферии, количеством АЦП, объемом SRAM-памяти, производительностью и ценой. STM32F103 обеспечивает лучшую производительность в классе 32-разрядных микроконтроллеров и самое низкое потребление тока. STM32F101 отличается более низкой стоимостью, сопоставимой с ценой 16-разрядных МК, при этом существенно превосходя их в производительности.

Таблица 1

Характеристики 32-битных микроконтроллеров STM32 (ARM Cortex-M3)

Наименование	Корпус	FLASH Кбайт	RAM Кбайт	Интерфейсы	I/O	Напряже- ние, В
Access – Доступная линейка						
STM32F101T6	QFN36	32	6	1xSPI/1xI2C/2xUSART	26	2 до 3,6
STM32F101T8	QFN36	64	10	2xSPI/2xI2C/3xUSART	26	2 до 3,6
STM32F101C6	LQFP48	32	6	1xSPI/1xI2C/2xUSART	36	2 до 3,6
STM32F101C8	LQFP48	64	10	2xSPI/2xI2C/3xUSART	36	2 до 3,6
STM32F101CB	LQFP48	128	16	2xSPI/2xI2C/3xUSART	36	2 до 3,6
STM32F101R6	LQFP64	32	6	1xSPI/1xI2C/2xUSART	51	2 до 3,6
STM32F101R8	LQFP64	64	10	2xSPI/2xI2C/3xUSART	51	2 до 3,6
STM32F101RB	LQFP64	128	16	2xSPI/2xI2C/3xUSART	51	2 до 3,6
STM32F101V8	LQFP100	64	10	2xSPI/2xI2C/3xUSART	80	2 до 3,6
STM32F101VB	LQFP100	128	16	2xSPI/2xI2C/3xUSART	80	2 до 3,6
Performance – Производительная линейка						
STM32F103T6	QFN36	32	10	1xSPI/1xI2C/2xUSART/USB/CAN	26	2 до 3,6
STM32F103T8	QFN36	64	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	26	2 до 3,6
STM32F103C6	LQFP48	32	10	1xSPI/1xI2C/2xUSART/USB/CAN	36	2 до 3,6
STM32F103C8	LQFP48	64	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	36	2 до 3,6
STM32F103CB	LQFP48	128	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	36	2 до 3,6
STM32F103R6	LQFP64	32	10	1xSPI/1xI2C/2xUSART/USB/CAN	51	2 до 3,6
STM32F103R8	LQFP64	64	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	51	2 до 3,6
STM32F103RB	LQFP64	128	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	51	2 до 3,6
STM32F103V8	LQFP100/ BGA100	64	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	80	2 до 3,6
STM32F103VB	LQFP100/ BGA100	128	20	2xSPI/2xI2C/3xUSART/USB/CAN	80	2 до 3,6

Микроконтроллеры семейства STM32F1x содержат следующие основные модули (рис. 1) [2]:

- ядро со встроенным контроллером вложенных прерываний с минимальной длительностью между прерываниями до 6 циклов;
- контроллер прямого доступа к памяти (DMA) на 7 каналов, поддерживающий передачи типа память-память, память периферия и периферия-память;
- контроллер внешних прерываний;
- статическое ОЗУ (SRAM), работающее на частоте ядра без циклов ожидания;
- от одного до трех 16-разрядных таймера;
- отдельный генератор на 32 КГц с калибровкой для часов реального времени;
- встроенный RC-генератор на 8 МГц, кото-

рый по умолчанию является основным источником тактового сигнала;

- тактовый генератор от 4 до 16 МГц, используемый как внешний;
- встроенная схема сброса при включении и выключении питания со встроенным детектором низкого напряжения питания (PVD), который производит сброс при падении напряжения ниже 2В;
- высокоскоростная системная шина, высокоскоростная периферийная шина и низкоскоростная периферийная шина;
- умножители, позволяющие настроить частоту системной и периферийной шин (максимальная частота системной шины такая же, как у ядра, и составляет 36 МГц для Access и 72 МГц – для Performance);

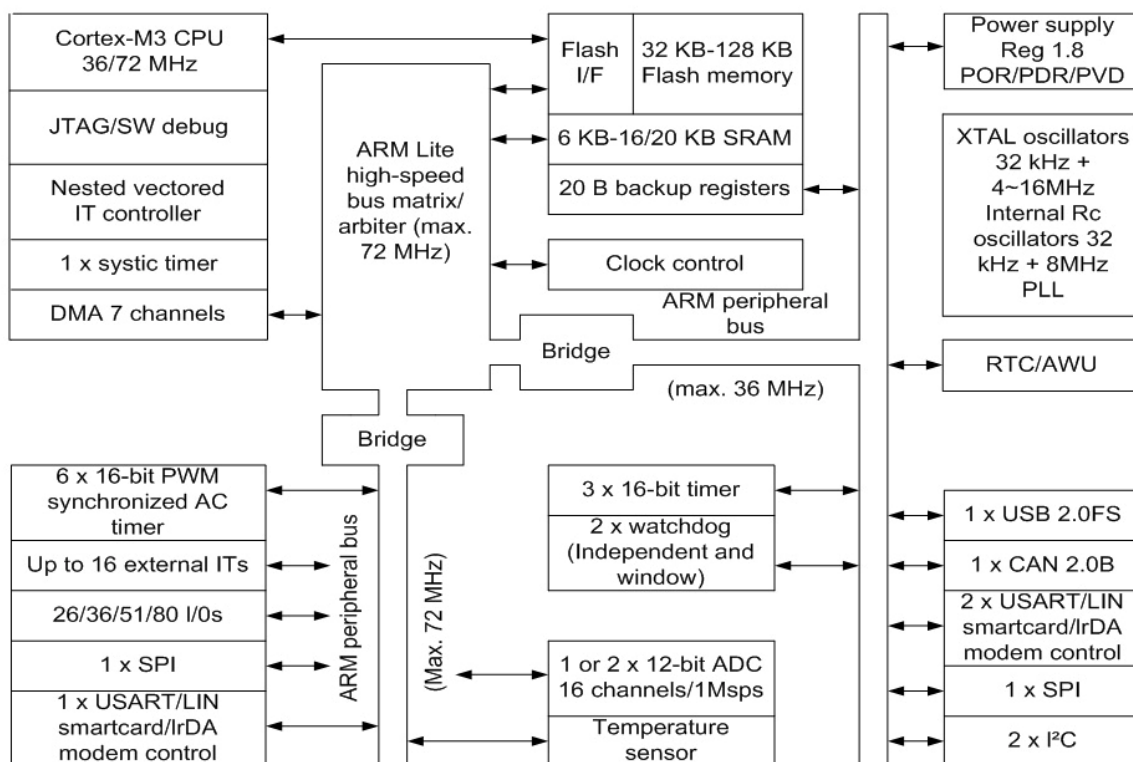


Рис. 1. Схема функціональна

- два 16-разрядных сторожевых таймера: независимый (работает от независимого тактового генератора) и оконный;
- от одного до трех 16-разрядных таймера;
- специализированный таймер для работы с операционной системой;
- встроенные часы реального времени с выделенным выводом для работы от элемента питания;
- встроенный 12-разрядный АЦП имеет 16 каналов (время преобразования 1 мкс., диапазон входных напряжений – от 0 до 3,6В);
- температурный датчик с возможностью подключения к АЦП;
- интерфейсы: USB со скоростью передачи данных 12 Мбит/с, USART со скоростью передачи данных до 4,5 Мбит/с, SPI с тактовой частотой до 18 МГц, I2C с тактовой частотой до 400 КГц.

Анализ ядра Cortex-M3

Ядро Cortex-M3 совместно разработано фирмой STM и ARM в 2004 году. При его разработке

учитывались требования рынка встраиваемых приложений, где определяющими при выборе микроконтроллера являются габариты, объем памяти и цена.

Ядро построено по гарвардской архитектуре и имеет разделенные шины данных и кода, что позволяет распараллелить выборку инструкций и загрузку данных, а, следовательно, обеспечивает более высокую производительность. Имеется трехуровневый конвейер, обеспечивающий выборку инструкции, ее декодирование и выполнение. Повышенное быстродействие достигается также за счет использования блока предсказаний ветвлений в программе.

В ядре Cortex-M3 применяется новый набор инструкций Thumb 2, который является развитием системы команд Thumb. Основное отличие Thumb 2 состоит в том, что он расширен рядом новых 16- и 32-разрядных инструкций, позволяющих повысить производительность (на 2 - 3%) и плотность кода (на 2 - 5%) при одновременном уменьшении энергопотребления. 32-раз-

рядные операции умножения выполняются за 1 цикл, деление занимает от 2 до 12 тактов. По данным, приведенным в документации [2], STM32 дает 30-процентное увеличение производительности, в сравнении с микроконтроллерами на базе уже известного разработчикам ядра ARM7TDMI.

Ядро может работать в потоковом режиме (основной режим) и в режиме обработчика исключений.

В потоковом режиме поддерживается привилегированное и непривилегированное выполнение кода. При работе обработчика исключений код выполняется в привилегированном режиме.

В Cortex-M3 реализован прямой доступ к отдельным битам. В адресной области имеется два 1-Мбайт блока с битовой адресацией и 32 Мбайт области регистров периферии.

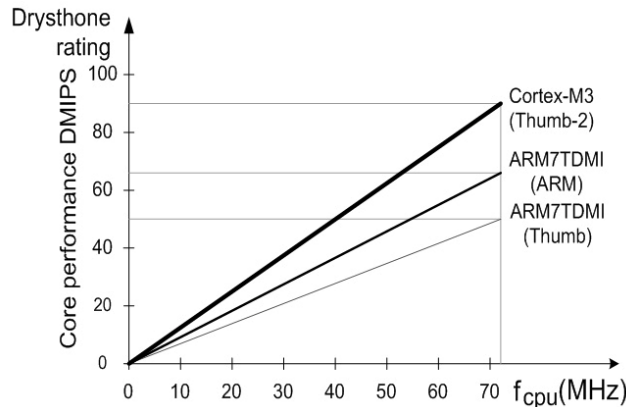


Рис. 2. Сравнение производительности Cortex-M3 с версиями ARM7TDMI

Ядро Cortex-M3 включает контроллер вложенных векторов-прерываний. Особенность работы контроллера состоит в том, что при возникновении исключения значения программного счетчика, регистров состояния и общего назначения помещаются в стек. После выполнения обработчика исключений происходит автоматическое восстановление состояния и продолжение выполнения прерванной программы.

Средства разработки

Разработчикам STM32 предоставляется широкий набор программных и аппаратных отладочных средств от различных производителей. Фирма STM предлагает оценочную плату и USB-набор разработчика. На сайте фирмы [4] можно получить доступ к бесплатным библиотекам программ для решения задач управления периферией и разработки драйверов. Стартовые наборы разрабатываются

такими фирмами, как HITEX, IAR, Keil и Raisonance.

В настоящее время образцы микроконтроллеров STM32 поставляются отдельным потребителям, в том числе и университетам Украины, участвующим в программе сотрудничества с фирмой STM [5].

Области применения

Семейство 32-разрядных микроконтроллеров STM32F1x претендует на широкую область применений. Это промышленная автоматика, авиационные, железнодорожные и автомобильные системы, бытовая техника, системы безопасности, компьютерная электроника, медицинские системы, бытовая техника и многое другое.

Особо следует отметить возможность разработки портативных систем, где важно малое потребление электроэнергии и возможность работы от батарейного питания.

Таблица 2
Приложения для 32-битных микроконтроллеров

Промышленная автоматика	Автоматические выключатели Программируемые логические контроллеры Промышленные сети
Торговля	Устройства чтения кредитных карт Кассовые аппараты Устройства упаковки Торговые автоматы Сканеры Принтеры
USB устройства	Средства безопасности Биометрия Устройства для считывания
Электроника	Периферия компьютеров Цифровые фото/видео камеры Устройства GPS Спутниковые радиосистемы
Системы безопасности и жизнеобеспечения	Системы видео наблюдения Системы противопожарной безопасности Системы вентиляции Системы отопления Аварийная сигнализация Панели управления
Медицинские системы	Кардиомониторы Портативные устройства контроля Измерители глюкозы

Надежность и безопасность

В микроконтроллерах данного семейства применено целый ряд решений, направленных на повышение надежности, защиты и безопасности. К их числу относятся:

- схема начальной установки (Reset circuitry);
- защита Flash памяти от считывания (Flash protection);
- часы с резервным питанием (Back-up clock);
- сохранение содержимого регистров (Back-up registers);
- встроенная система контроля качества питания (Emergency stop),
- распределение карты памяти (Deterministic mapping);
- два 16-разрядных сторожевых таймера (Dual watchdog) и др.

Для сохранения хода часов и содержимого реги-

стров при отключении питания предусмотрен вход для подключения батареи.

Также организовано два режима доступа к коду: привилегированный и непривилегированный. Это позволяет сохранять безопасность работы приложений. В режиме непривилегированного выполнения исключается доступ к отдельным инструкциям кода и областям памяти, что обеспечивает их защиту.

Характеристики семейства микроконтроллеров ARM Cortex M3 обеспечивают возможность работы в агрессивной среде, включая вибрационные, температурные (Performance -40/+105C, Access -40/+85C) и радиационные воздействия.

Для уменьшения энергопотребления предусмотрены различные режимы работы. Значения потребляемой мощности приведены в табл. 3.

В режиме Stop все тактовые схемы выключены, содержимое оперативной памяти и регистров сохранено. Выход из режима Stop происходит при возникновении внешнего прерывания, прерывания от детектора низкого напряжения (PVD), сигнала часов реального времени (RTC) и сигнала от шины USB.

Таблица 3

Показатели потребляемой мощности

Режимы	STM32F10x
Рабочий режим (обычная конфигурация)	36мА 72МГц
Рабочий режим (периферийные устройства выключены)	27мА 72МГц
Stop	14 мкА
Standby	2 мкА
Выход из режима Stop	7 мкс
Выход из режима Standby	55 мкс
Допустимое напряжение питания	2,0В – 3,6В
Часы реального времени питаются от батареи	1,4 мкА 3,3В

В режиме Standby основной регулятор напряжения отключен, часы реального времени остановлены, ядро практически не работает, а кроме того, в отличие от режима Stop, не сохраняется содержимое

регистров и оперативной памяти. Выход из этого режима возможен, как правило, при появлении сигнала сброса, сигнала часов реального времени или переполнении сторожевого таймера.

Заключение

Задача выбора микроконтроллера для нового проекта – это всегда компромисс между такими требованиями как цена, производительность, энергопотребление. Если говорить о критических приложениях, то к этим требованиям добавляется надежность и безопасность. Важным для разработчиков фактором является инструментальная и программная поддержка. Появление STM32 со встроенными возможностями ядра ARM Cortex-M3 (побитное управление, предугадывание ветвления, умножение за один такт, плотность кода, работа в режиме реального времени, низкое энергопотребление, стандартная архитектура), минимальным количеством необходимых внешних компонент, высоким уровнем интеграции, большим разнообразием подключаемой периферии, полной совместимостью семейств микроконтроллеров при ощутимом уменьшении цены по мнению специалистов является серьезным шагом на пути сближения 16 и 32-разрядных платформ и стремительному росту области их применения. Значительное повышение производительности, уменьшение энергопотребления до 25% и сокращение

размера кода приблизительно на 45% - все это говорит в пользу рассмотренного в статье семейства 32-разрядных микроконтроллеров.

Литература

1. Мпандо П. STMicroelectronics: научное и промышленное партнерство. // Інформаційні інфраструктури та технології. – 2007. – №7. – С. 27-31.
2. STM32 MCU family 32-bit Flash microcontrollers powered by ARM Cortex –M3 // STMicroelectronics. October. – 2007.
3. Пономарев В. Новые микроконтроллеры фирмы STMicroelectronics на базе ядра Cortex-M3 // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 6. – С. 50-55.
4. Сайт фирмы STM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stm.com/stm32>.
5. Харченко В.С., Орехов А.А. Университеты Украины и компания STMicroelectronics: старт сотрудничества // Інформаційні інфраструктури та технології. – 2007. – №7. – С. 26.

Поступила в редакцию 12.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.