

Решение проблемы выбора между параллельным и последовательным интерфейсом памяти во встраиваемых системах на базе Cortex-M3 с функцией SPIFI

Печатается с разрешения NXP Semiconductors

Роб Косаро, Жене Картер (Нидерланды)

Компания NXP разработала функцию периферийного оборудования (вначале она будет поддерживаться новыми микроконтроллерами LPC1800 на базе ядра ARM Cortex-M3), которая позволит разработчикам встраиваемых систем использовать внешнюю последовательную флэш-память вместо более крупной и дорогой параллельной флэш-памяти. Эта функция периферийного оборудования, получившая название SPI Flash Interface (SPIFI, подана заявка на патент), отображает внешнюю последовательную флэш-память в карте распределения памяти микроконтроллера, благодаря чему чтение данных из неё может происходить, как из встроенной памяти. Теперь разработчики смогут создавать системы, которые легче конфигурируются, умещаются в более компактном корпусе, требуют меньше места на плате, стоят дешевле и при этом удовлетворяют всем требованиям к производительности.

ПОТРЕБНОСТЬ ВО ВНЕШНЕЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ

Встраиваемые приложения на базе 32-разрядного микроконтроллера всё чаще нуждаются в различных передовых функциях для управления мультимедиа, фотографиями и другим ресурсоёмким контентом. Это в первую очередь относится к системам с человеко-машинным интерфейсом, от которых сегодняшние пользователи привычно ожидают наличия графического дисплея для взаимодействия с окнами, фотографиями, зву-

ковыми и анимационными файлами и т.п. Кроме того, поскольку продукция становится всё более интернациональной, она должна поддерживать различные языки с использованием не только латинского алфавита. Все эти требования накладывают дополнительные условия на ресурсы системной памяти.

Большинство 32-разрядных микроконтроллеров оснащается встроенной флэш-памятью, которая способна поддерживать функции, связанные с интенсивным обменом

данными, однако зачастую имеет недостаточный объём для обслуживания приложения в целом. Обычно объём флэш-памяти не превышает 1 Мб. Этого, как правило, достаточно для размещения основной части критически важного кода, но не для хранения всего, что нужно приложению, например, справочных таблиц, изображений, фотографий, звуковых файлов, текстов на нескольких языках и т.д. Поэтому разработчики часто используют внешнюю флэш-память. В настоящее время доступны модули объёмом более 8 Мб.

ВЫБОР МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПАМЯТЬЮ

Выбирая между параллельной и последовательной памятью, разработчики всегда должны были искать компромисс, чтобы сбалансировать множество параметров. Параллельная флэш-память часто работает быстрее, чем последовательная, но при этом требует использования большего числа выводов, большего числа дорожек на печатной плате и занимает на ней больше места.

На рис. 1 приведена диаграмма пропускной способности типичных устройств с параллельной и последовательной флэш-памятью. Как видно из диаграммы, для параллельной флэш-памяти фиксированное время доступа без буферизации составляет около 90 нс. При таких условиях скорость обмена данными 16-битной параллельной флэш-памяти достигает 22 Мб/с. У последовательной флэш-памяти на максимальной тактовой частоте 80 МГц скорость обмена 80 Мбит/с. Для устройств с четырёхканальным (quad) интерфейсом, таким образом, наибольшая скорость обмена данными равна 40 Мб/с. В этом расчёте не учитывались управляющие биты, однако устройства quad SPI поддержива-

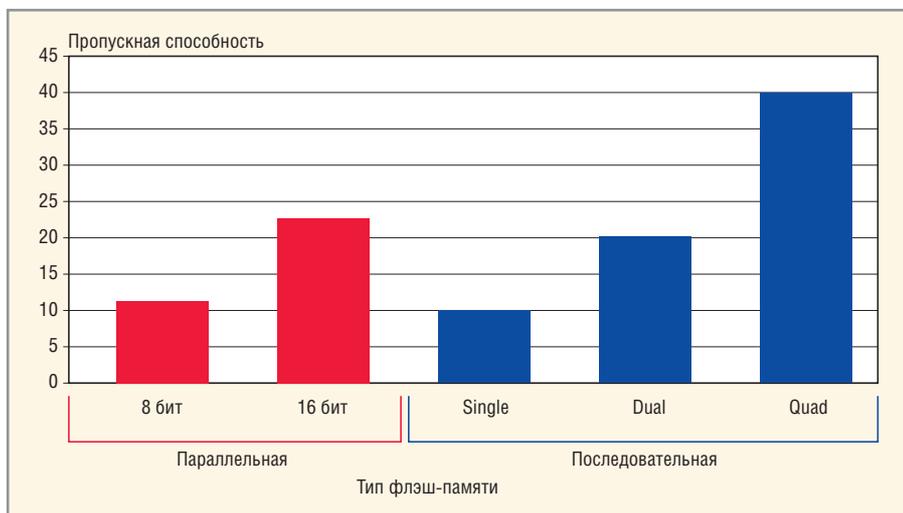


Рис. 1. Типичные скорости обмена данными для последовательной и параллельной флэш-памяти

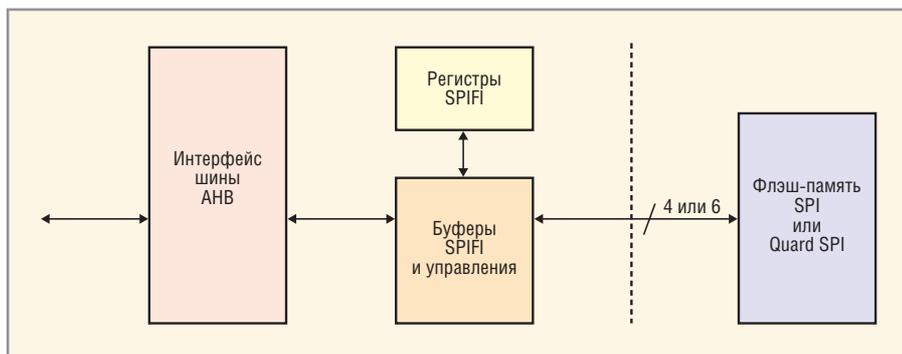


Рис. 2. Блок-схема периферийного устройства SPIFI

ют пакетную передачу данных, используемую интерфейсом SPIFI. Благодаря этому интерфейс SPIFI приближается к таким скоростям обмена данными.

Как видно из рис. 1, типичная 16-битная параллельная флэш-память обеспечивает скорость обмена данными 20 Мб/с. В системах с 32-битным микроконтроллером и 32-битной шиной внешней памяти (таких как системы NXP) разработчики могут использовать совместно два 16-битных параллельных устройства, чтобы обеспечить скорость обмена данными 40 Мб/с. Однако увеличение скорости приводит к удорожанию системы. В описанной конфигурации используется два модуля параллельной флэш-памяти, каждый из которых помещён в отдельный корпус с десятками выводов, причём размер корпуса, число выводов и место, необходимое на печатной плате, могут оказаться больше допустимых пределов.

Последовательная флэш-память, которая обычно использует простой четырёхвыводной интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface), может стать хорошей альтернативой параллельной флэш-памяти в тех случаях, когда размеры, потребляемая мощность и стоимость имеют критически важное значение, однако такая память работает гораздо медленнее. Из рис. 1 видно, что типичная SPI флэш-память с частотой 50 МГц передаёт данные на скорости примерно 5 Мб/с (это в восемь раз меньше, чем у конфигурации с двумя 16-битными параллельными устройствами). Следует также учесть, что в большинстве микроконтроллеров интерфейс SPI подключается к матрице периферийных устройств, поэтому сначала данные поступают в код драйвера, который помещает их во встроенное ОЗУ, и лишь после этого они становятся до-

ступными процессору. Это может приводить к задержкам, так как каждая порция данных, считанных с последовательной флэш-памяти, должна пройти через программный уровень интерфейса SPI. Для некоторых приложений стандартный интерфейс SPI может оказаться недостаточно быстрым.

Новый формат флэш-памяти Quad SPI, в котором используется модифицированная шестивыводная конфигурация SPI, отличается существенно более высоким быстродействием, чем традиционные форматы SPI. Как видно из рис. 1, Quad SPI обеспечивает обмен данными на скорости 40 Мб/с, такой же, как и при использовании двух 16-битных параллельных устройств. Устройства Quad SPI зачастую обходятся гораздо дешевле параллельных, поскольку требуют значительно меньше выводов и умещаются в более компактных корпусах. На первый взгляд, флэш-память Quad SPI может стать хорошей заменой параллельной флэш-памяти во встраиваемых системах, однако на практике современные 32-битные микроконтроллеры не способны поддерживать максимальную скорость работы флэш-памяти Quad SPI. Это связано с тем, что интерфейс Quad SPI, как и традиционный интерфейс SPI, подключается к матрице периферийных устройств микроконтроллера.

ОТКАЗ ОТ КОМПРОМИССА

Компания NXP разработала новую функцию периферийного оборудования, SPI Flash Interface (SPIFI), которая избавляет от необходимости компромисса между параллельным и последовательным подключением. Благодаря патентуемой в настоящее время функции SPIFI недорогая SPI флэш-память и новая Quad SPI флэш-память отображаются в карте рас-

пределения памяти микроконтроллера ARM Cortex-M3, что обеспечивает лишь минимальное снижение производительности внешней SPI флэш-памяти по сравнению с внешней параллельной флэш-памятью. Поскольку весь объём внешней флэш-памяти отображается в карте распределения памяти микроконтроллера, он может получать доступ к этой памяти напрямую, без помощи программного интерфейса (API) или библиотек.

Например, при использовании флэш-памяти Quad SPI периферийное устройство SPIFI поддерживает скорость передачи данных до 40 Мб/с. Не жертвуя производительностью, разработчик может выбрать менее дорогое, компактное, легко конфигурируемое SPI флэш-устройство.

Кроме того, разработчик может выбрать и более компактный недорогой микроконтроллер, так как системе не потребуется громоздкий интерфейс для внешней параллельной памяти. Периферийное устройство SPIFI позволяет создавать компактные, эффективные и недорогие встраиваемые системы, которые лучше используют ресурсы памяти.

Специализированная функция SPIFI первоначально будет поддерживаться серией LPC1800 микроконтроллеров ARM Cortex-M3 компании NXP. Она также будет доступна в новых линейках продукции, включая серию недорогих Cortex-M0 и цифровых последовательных контроллеров (DSC) Cortex M4.

SPIFI поддерживает большинство последовательных устройств флэш-памяти, в том числе с возможностью чтения/записи сразу по четырём каналам, и упрощает конфигурирование и программирование. Эта функция задействует четыре или шесть выводов (в зависимости от типа последовательной флэш-памяти), работает с малым количеством регистров, оптимизирована для эффективного выполнения обращений к памяти и использует программные команды, которые снижают нагрузку на ЦПУ и рационализируют взаимодействие с памятью.

КАК РАБОТАЕТ SPIFI

На рис. 2 представлена блок-схема периферийного устройства. SPIFI подключается к матрице АНВ (Application High-speed Bus – шина высо-

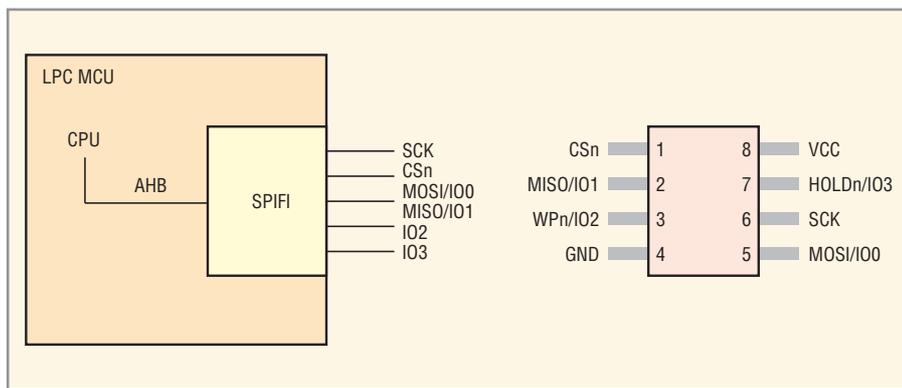


Рис. 3. Физический интерфейс периферийного устройства SPIFI

коскоростных приложений) микроконтроллера, используемой ядром процессора и встроенной памятью. Периферийное устройство SPIFI представляет содержимое внешней флэш-памяти SPI в карте распределения памяти микроконтроллера. После того как загрузочный код, содержащийся в интегрированном ПЗУ, инициализирует интерфейс SPIFI, внешняя память SPI для процессорного ядра выглядит как встроенная память.

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ

Все драйверы, необходимые для работы интерфейса SPIFI, хранятся в ПЗУ. При чтении производится лишь один вызов подпрограммы для инициализации периферийного устройства SPIFI. После выполнения инициализации всё содержимое флэш-памяти SPI становится доступным процессору и/или каналам DMA, как обычная память: с доступом по байтам, полусловам и словам. Для стирания и программирования достаточно просто вызвать функцию API, которая имеет доступ к командам в ПЗУ, таким образом, использование внешней памяти SPI становится столь же простым, что и встроенной флэш-памяти.

ЗАГРУЗКА С УСТРОЙСТВА SPIFI

Для систем, которым требуется загрузка с внешней последовательной флэш-памяти, микроконтроллер NXP LPC1800 был оснащён механизмом, позволяющим использовать SPIFI в качестве источника загрузки. Источник загрузки можно выбрать двумя способами. Чтобы определить, с какого интерфейса осуществлять загрузку, в первом используются выводы микроконтроллера, во втором – программа пользователя, хра-

нящаяся в энергонезависимой памяти. Благодаря использованию энергонезависимой памяти удаётся избежать назначения выводам двух функций.

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

На рис. 3 представлен физический интерфейс периферийного оборудования SPIFI. Для обычных устройств SPI он использует четыре вывода, а для конфигураций с памятью Quad SPI – два дополнительных.

Различные производители последовательной флэш-памяти и устройств используют или требуют использования разных команд и форматов команд. Периферийное устройство SPIFI обладает достаточной гибкостью, чтобы обеспечить совместимость с большинством обычных устройств SPI флэш-памяти, и содержит расширения, гарантирующие совместимость с будущими устройствами.

СОКРАЩЁННЫЙ НАБОР РЕГИСТРОВ

Компактный набор регистров обеспечивает периферийному устройству SPIFI множество интеллектуальных возможностей, не усложняя его использование. Для управления функцией SPIFI, взаимодействия с внешней памятью SPI, хранения и считывания данных, а также для мониторинга операций требуется всего восемь регистров. Поскольку встроенный в ПЗУ программный интерфейс API управляет процессами установки, программирования и стирания, операции с внешней памятью SPI в приложении выполняются путём вызова лишь нескольких подпрограмм. В итоге периферийное устройство SPIFI легко конфигурировать и поддерживать в различных приложениях.

ПРОГРАММНЫЕ КОМАНДЫ

Внешняя память отвечает на команды, посылаемые программным обеспечением микроконтроллера, и на команды, автоматически отправляемые периферийным устройством SPIFI, когда его ПО считывает некоторую область последовательного флэш-устройства в карте распределения памяти. Команды разделяются на следующие поля: код операции, адрес, вспомогательное поле и данные. Поле адреса, вспомогательное поле и поле данных являются опциональными, их наличие зависит от кода операции. Некоторые устройства поддерживают режим, в котором код операции при выполнении команд чтения указывается неявным образом для повышения производительности. Поля данных подразделяются на поля входных и выходных данных – в зависимости от кода операции. Все команды для внешней памяти SPI могут выполняться путём вызова подпрограмм API из ПЗУ. Драйвер SPIFI API, хранящийся в ПЗУ, обеспечивает доступ к содержимому внешней памяти SPI с помощью простых команд загрузки, это сокращает размеры кода приложения и упрощает его написание.

ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ НЕЗАВИСИМО ОТ ЦПУ

ПО SPIFI может считывать данные из внешней памяти и записывать их в ОЗУ или на периферийные устройства без помощи ЦПУ. Например, микроконтроллеры с интегрированным контроллером ЖК-дисплея позволяют использовать эту возможность для повышения производительности и экономии энергии. Изображения могут храниться во внешней памяти и извлекаться из неё контроллером ЖК-дисплея. Поскольку контроллер ЖК-дисплея считывает основную часть данных с последовательных адресов, периферийное устройство SPIFI может осуществлять упреждающую выборку адресов, чтобы они были готовы к использованию, когда понадобятся, – по существу, без состояний ожидания. Вся операция происходит без обращения к ЦПУ, при этом нет необходимости предварительно загружать изображения во встроенное ОЗУ. Это означает, что система сможет использовать микроконтроллер с меньшим объёмом встроенного ОЗУ или высвободи-

дить имеющееся ОЗУ для других задач. Кроме того, поскольку изображения извлекаются из памяти непосредственно контроллером ЖК-дисплея, дисплей сможет быстрее обновлять графические данные, обеспечивая более плавное выполнение таких простых операций, как открытие или закрытие окна. Для экономии энергии возможно также снижение тактовой частоты системы без заметного влияния на рабочие характеристики дисплея.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КОДА

С программной точки зрения, микроконтроллер способен исполнять код непосредственно из внешней памяти SPI. Это бывает полезно при обновлении системы на месте эксплуатации или при замене функций, первоначально установленных во встроенной флэш-памяти. Аттестованный код обновления может быть записан во внешнюю флэш-память. Если, например, адреса функций системы находятся в таблице, размещённой во встроенной флэш-памяти, можно перепрограммировать таблицу, поместив в неё адрес подпрограммы, которая теперь находится во внешней флэш-памяти. И наоборот, если страница, содержащая начало оригинальной подпрограммы, хранится во встроенной флэш-памяти, можно поместить на эту страницу оператор дальнего перехода к новой подпрограмме во внешней флэш-памяти. В любом случае для исполнения нового кода его не нужно будет загружать во встроенное ОЗУ, поскольку периферийное устройство SPIFI обеспечивает непосредственное исполнение из внешней памяти.

Однако исполнение кода из внешней памяти никогда не будет столь же быстрым, как при использовании встроенной памяти. Периферийное устройство SPIFI не предназначено для работы с функциями реального времени, которые требуют пиковой производительности, но для менее важных фрагментов кода SPIFI может оказаться весьма привлекательным вариантом.

ФУНКЦИИ ЗАПИСИ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛНЕНИЯ ИНСТРУКЦИЙ

SPIFI поддерживает функции записи во время исполнения инструкций,

т.е. интерфейс может легко и быстро запрограммировать или стереть содержимое внешней памяти, даже когда процессор выполняет код, содержащийся во встроенной флэш-памяти. Поскольку периферийное устройство SPIFI способно работать самостоятельно без взаимодействия с ЦПУ, система может выполнять свои функции, не прерывая работы, пока происходит перепрограммирование последовательной флэш-памяти.

Эта функция полезна для обновления программного обеспечения на месте эксплуатации системы, так как позволяет записывать данные во внешнюю память, не прерывая выполнение кода критически важного приложения. Например, в интеллектуальном счётчике функции измерения должны работать постоянно, даже во время обновления программного обеспечения. Благодаря интерфейсу SPIFI коммунальная компания может сконфигурировать систему на запись любого нового кода во внешнюю флэш-память без приостановки активных измерительных функций с последующей интеграцией нового кода в систему. Аналогично, если система имеет USB-порт, новый код можно записать на портативный USB-диск и перенести во внешнюю флэш-память, не прерывая критически важные операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая патентуемая в настоящее время функция NXP SPI Flash Interface (SPIFI), которая первоначально будет поддерживаться новыми микроконтроллерами LPC1800 Cortex-M3 на базе ядра ARM, обеспечит отображение внешней последовательной флэш-памяти в карте распределения памяти микроконтроллера с возможностью считывания данных, как из встроенной памяти. Благодаря этому разработчики смогут использовать большие объёмы внешней флэш-памяти, снизить стоимость готовой системы и минимизировать её размеры.

Периферийное устройство SPIFI позволяет использовать компактную недорогую последовательную флэш-память для удовлетворения требований к производительности системы. Разработчики получают множество преимуществ последовательной флэш-памяти – низкую стоимость, небольшой размер, простоту конфигурирования – без заметного снижения производительности. Кроме того, SPIFI позволяет выбирать микроконтроллеры без параллельного интерфейса для создания более компактных недорогих систем с требуемым уровнем производительности.

Компания NXP планирует обеспечить поддержку функции SPIFI другими семействами Cortex-M, включая недорогую серию Cortex-M0 и готовящуюся к выпуску серию цифровых сигнальных контроллеров Cortex-M4.

