

Реализация интерфейса USB в микроконтроллерных устройствах

Дмитрий Тумайкин (Ярославская обл.)

В статье приводится обзор основных вариантов реализации интерфейса USB в микроконтроллерных устройствах – на микроконтроллерах, имеющих поддержку интерфейса на аппаратном уровне и с применением микросхем-драйверов интерфейса. Дано описание и приведены решения организации USB наиболее известных в России производителей микроконтроллеров и микросхем сопряжения с USB.

В настоящее время большинство измерительных устройств и устройств автоматики имеют интерфейс связи с ПК. Зачастую в качестве интерфейса связи выступает интерфейс RS-232. Это обусловлено, прежде всего, простотой реализации данного интерфейса как аппаратно, так и программно, – большинство современных микроконтроллеров имеют встроенный UART (универсальный асинхронный приёмопередатчик).

Однако в современных ноутбуках и материнских платах ПК производители либо устанавливают один COM-порт, либо вообще не устанавливают его как рудимент. В связи с этим сфера применения устройств с интерфейсом RS-232 сужается. На смену интерфейса RS-232 пришел интерфейс USB. Данный интерфейс отличается высокой скоростью передачи данных (до 480 Мбит/с для спецификации USB 2.0), возможностью подключения до 127 устройств и масштабируемостью с использованием хабов, высокой нагрузочной способностью порта (до 500 мА), возможностью горячего подключения/отключения.

USB является промышленным стандартом расширения архитектуры PC, ориентированным на интеграцию с телефонией и устройствами бытовой электроники. Версия 1.0 была опубликована в начале 1996 г., большинство устройств поддерживает версию 1.1, которая вышла осенью 1998 г., – в ней были устранены обнаруженные в первой редакции проблемы. Весной 2000 г. опубликована спецификация USB 2.0, в которой предусмотрено 40-кратное повышение пропускной способности шины.

Первоначально (в версиях 1.0 и 1.1) шина обеспечивала две скорости передачи информации: полная скорость FS (full speed) – 12 Мбит/с и низкая скорость LS (Low Speed) – 1,5 Мбит/с. В версии 2.0 добавлена ещё и высокая скорость обмена HS (High Speed) – 480 Мбит/с. USB 2.0 обратно совместим с USB 1.0.

Для обеспечения связи устройства с ПК по USB-интерфейсу можно воспользоваться HID-драйвером. При этом разрабатываемое устройство должно поддерживать протокол обмена и соответствовать спецификации HID-устройств. Основным ограничением данного подхода является скорость обмена до 64 Кбит/с. Если же стандартный драйвер не подходит, необходимо разрабатывать собственный драйвер поддержки. Программное обеспечение для реализации USB-соединения подразделяется на три группы:

- драйвер устройства – используется для связи с устройством на низком уровне;
- DLL-библиотека – используется для связи драйвера устройства с функциями устройства, что упрощает доступ к функциям устройства из программы пользователя;
- интерфейс пользователя – предназначен для удобства работы пользователя с устройством, вызывает функции только из DLL-библиотеки.

В данной статье приводится обзор основных вариантов реализации интерфейса USB в микроконтроллерных устройствах – на микроконтроллерах, имеющих поддержку интерфейса на аппаратном уровне и с при-

менением микросхем-драйверов интерфейса:

- с помощью микроконтроллера, у которого интерфейс USB реализован аппаратно. В этом случае необходимо написать программу для микроконтроллера, реализующую обмен по USB. Кроме того, если операционная система не поддерживает стандартные классы USB или они не удовлетворяют требованиям разработчика, то необходимо написать драйвер для компьютера;
- использование универсального преобразователя интерфейсов. В этом случае разработка специальной прошивки не потребует, нет необходимости разбираться в тонкостях работы интерфейса USB и нет необходимости написания драйвера, т.к. производитель преобразователя предлагает свой драйвер. Недостаток – более высокая стоимость системы, а также увеличенные габариты готового изделия. Основная проблема такого подхода заключается в сложности достижения высокой скорости обмена.

Для реализации интерфейса USB выпускается широкий ассортимент микросхем, различающихся скоростями обмена (LS, FS или HS), числом и возможностями конечных точек (тип передач, размер буфера).

Производители наиболее распространенных микроконтроллеров имеют в линейке своей продукции семейство микроконтроллеров с аппаратной поддержкой интерфейса USB.

ATMEL

С портом USB фирма Atmel выпускает микроконтроллеры на ядре MCS51, AVR и ARM. Они различаются объемом памяти (оперативной и энергонезависимой), производительностью, напряжением питания, потреблением, наличием встроенных устройств АЦП/ЦАП и т.д. Таким образом, разработчик всегда может подобрать себе микроконтроллер, имеющих в своём составе все необходимые ему встроенные устройства. Микро-

контроллеры с интегрированным интерфейсом USB фирмы Atmel с архитектурой MCS51 приведены в табл. 1. Микроконтроллеры с интегрированным интерфейсом USB фирмы Atmel с ядром AVR приведены в табл. 2. Данные микроконтроллеры содержат интегрированный приёмопередатчик, соответствующий спецификации шины USB 2.0, FIFO – буфер, поддерживают одновременную работу с несколькими устройствами. Для работы интерфейса USB используется единый блок генерации тактового сигнала – один кварц для ядра микроконтроллера и USB. Также следует отметить малое число внешних компонентов для реализации интерфейса.

Данные микроконтроллеры наряду с поддержкой спецификации USB содержат большое количество разнообразных интегрированных периферийных устройств.

Микроконтроллеры поддерживаются полным набором программ и средствами для проектирования, в т.ч.: Си-компиляторы, макроассемблеры, программные отладчики/симуляторы, внутрисхемные эмуляторы и оценочные наборы. Для разработчиков на базе микроконтроллеров с интерфейсом USB разработана мезонинная плата STK525, снабжённая

Таблица 1. Микроконтроллеры с архитектурой MCS51

Тип	Характеристики							Функции
	интерфейс	ядро	Flash, Кб	EEPROM, Кб	RAM, байт	напряжение питания, В	количество оконечных устройств	
AT89C5130A-M	USB	C51	16	1	1280	2,7...5,5	7	TWI, SPI, UART, PCA
AT89C5131A-L	USB	C51	32	1	1280	3,0...3,6	7	TWI, SPI, UART, PCA
AT89C5131A-M	USB	C51	32	1	1280	2,7...5,5	7	TWI, SPI, UART, PCA
AT89C5132	USB	C51	64		2304		4	SPI, UART, IDE, TWI, MultiMediaCard, DataFlash, I2S, 10-разрядный АЦП

набором полезных программ и примеров в исходных кодах.

Микроконтроллеры с интегрированным интерфейсом USB фирмы Atmel AT91 с ядром ARM приведены в табл. 3. Данные высокопроизводительные микроконтроллеры с большим числом разнообразных интегрированных периферийных устройств (USB 2.0 Full Speed-порт, USARTs, SPI, SSC, TWI, АЦП, DMA-контроллер) являются идеальным решением для перехода с 8-разрядных микроконтроллеров для увеличения производительности, увеличения объёма интегрированной памяти и реализации USB 2.0 Full Speed.

MicroCHIP

Фирма Microchip Technology выпускает микроконтроллеры PIC16C745/765, которые имеют встроенный пе-

риферийный модуль USB, соответствующий спецификации USB v1.1. Модуль USB поддерживает передачи управления и прерывания для скорости 1,5 Мбит/с. PIC16C745 – микроконтроллер с архитектурой PIC. Имеет встроенную USB-функцию, работающую в LS-режиме, 256 байт ОЗУ, 14 336 байт ПЗУ, 22 программируемых вывода, последовательный интерфейс, 5-канальный 8-битный АЦП. PIC16C765 отличается тем, что имеет 33 программируемых вывода и 8-канальный 8-битный АЦП. Данные микроконтроллеры предназначены для реализации устройств, не требующих высоких скоростей передачи данных, – разнообразных устройств управления и автоматики, систем сбора данных с датчиков и т.п.

Микроконтроллеры с поддержкой USB High Speed представлены в таб-

Таблица 2. Микроконтроллеры с ядром AVR

Тип	Характеристики							JTAG для внутрисхемного программирования и отладки
	USB	самопрограммируемая Flash-память программ, Кб	SRAM, Кб	EEPROM Кб	АЦП	MIPS	напряжение питания, В	
AT90USB1286	Есть	128	8	4	8-канальный 10-разрядный	До 16 при 16 МГц	2,7...5,5	Есть
AT90USB1287	USB On-The-Go функция	128	8	4	8-канальный 10-разрядный	До 16 при 16 МГц	2,7...5,5	Есть
AT90USB646	Есть	64	4	2	8-канальный 10-разрядный	До 16 при 16 МГц	2,7...5,5	Есть
AT90USB647	USB On-The-Go функция	64	4	2	8-канальный 10-разрядный	До 16 при 16 МГц	2,7...5,5	Есть

Таблица 3. Микроконтроллеры AT91 с ядром ARM

Тип	Flash, Кб	SRAM, Кб	USB Host (Full Speed)	USB Device (Full Speed)	10-разрядный АЦП (каналов)	F _{max} , МГц	ШИМ, каналов	Число линий ввода/вывода	Число 16-разрядных таймеров	SPI	Ядро
AT91RM3400	–	96	–	1	–	66	–	63	6	1	ARM7TDMI
AT91RM9200	–	16	2	1	–	180	–	94	6	1	ARM920T
AT91SAM7A3	256	32	–	1	16	60	8	62	9	2	ARM7TDMI
AT91SAM7S128	128	32	–	1	8	55	4	32	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7S256	256	64	–	1	8	55	4	32	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7S321	32	8	–	1	8	55	4	32	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7S64	64	16	–	1	8	55	4	32	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7SE256	256	32	–	1	8	48	4	88	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7SE32	32	8	–	1	8	48	4	32	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7SE512	512	32	–	1	8	48	4	88	3	1	ARM7TDMI
AT91SAM7X128	128	32	–	1	8	55	4	60	3	2	ARM7TDMI
AT91SAM7X256	256	64	–	1	8	55	4	60	3	2	ARM7TDMI
AT91SAM7XC128	128	32	–	1	8	55	4	60	3	2	ARM7TDMI
AT91SAM7XC256	256	64	–	1	8	55	4	60	3	2	ARM7TDMI
AT91SAM9260	–	2 × 4	2	1	4	180	–	96	6	2	ARM926EJ-S
AT91SAM9261	–	160	2	1	–	180	–	96	3	2	ARM926EJ-S

Таблица 4. Микроконтроллеры с поддержкой USB High Speed

Тип	Память программ, Кб	Память данных, байт		Число линий ввода/вывода	АЦП	ШИМ (ССР/ЕСРР)	SPI	МІС	Компараторы	Таймеры 8/16 бит
		RAM	EEPROM							
PIC18F2455	24	2048	256	24	10	2/0	+	+	2	1/3
PIC18F2550	32	2048	256	24	10	2/0	+	+	2	1/3
PIC18F4455	24	2048	256	35	13	1/1	+	+	2	1/3
PIC18F4550	32	2048	256	35	13	1/1	+	+	2	1/3
PIC18F2450	16	768	–	24	10	1/0	–	–	–	1/2
PIC18F4450	16	768	–	35	13	1/0	–	–	–	1/2

лице 4. Данные микроконтроллеры сочетают в себе интегрированный USB-интерфейс и производительный контроллер PIC18F. Данное решение позволяет не вникая в тонкости работы USB-интерфейса перевести устройства с порта RS-232 на современный высокоскоростной USB.

Для помощи разработчикам в реализации проектов фирма Microchip Technology предоставляет набор библиотечных функций, поддерживающих USB-интерфейс. Эти библиотеки позволяют освободить основное программное обеспечение от необходимости обрабатывать сложный протокол USB. Выполнение большинства функций USB обеспечивается просто вызовом интерфейсных функций Put/Get (передать/принять). Библиотеки также обеспечивают приложения операциями при нумерации и конфигурировании.

Кроме того, компания Microchip предлагает разнообразные демонстрационные и отладочные средства для работы с интерфейсом USB.

FTDI

Компания FTDI (Future Technology Devices International) специализируется на производстве микросхем сопряжения микропроцессорных устройств с USB. Решения FTDI позволяют организовать обмен данными по USB простейшим образом благодаря

аппаратной реализации протокола и наличию бесплатных драйверов для Windows 98/2000/ME/XP, MAC OS – X, Linux.

Микросхемы FTDI являются мостом между USB и такими микропроцессорными интерфейсами, как UART, FIFO, JTAG, SPI, I²C и т.д. В режиме Bit Bang они могут использоваться для конфигурирования микросхем программируемой логики через USB или для ввода/вывода по USB цифровых логических сигналов без использования дополнительного микроконтроллера.

Использование микросхем FTDI является идеальным решением для быстрой замены интерфейса RS232 на современный USB в разработанных устройствах. Использование компонентов FTDI не требует от разработчика глубоких знаний интерфейса USB благодаря наличию на сайте производителя драйверов, богатого инструментария разработчика и примеров.

Продукция компании представлена рядом микросхем. Хост-контроллер Vinculum имеет два порта USB, один из которых может быть сконфигурирован как хост, другой – как периферийный (slave). Кроме того, микросхема имеет дополнительные порты ввода/вывода, которые могут работать в режимах SPI, UART или параллельного 8-разрядного интерфей-

са. Микросхема FT232R является преобразователем USB – UART с интегрированным внутренним тактовым генератором, который можно использовать в качестве задающего для внешних устройств, при этом значение выходной частоты может быть задано равным 6, 12, 24 или 48 МГц. Также FT232R имеет интегрированную энергонезависимую память EEPROM и пассивные компоненты, интегрированные в кристалл. Таким образом, для подключения данной микросхемы к микроконтроллеру практически не потребуется дополнительных элементов обвязки. Также следует отметить наличие уникального идентификационного номера (FTDIDChip-IDT), который программируется производителем в процессе изготовления кристаллов и доступен для чтения по шине USB. Данный номер может быть использован при создании USB – ключа для защиты пользовательских приложений. Новые микросхемы FT232R выпускаются в двух типах корпусов – SSOP28 (FT 232RL) и QFN32 (FT 232RQ), выполненных по бессвинцовой технологии.

Также существуют микросхемы-преобразователи других интерфейсов – RS422, RS485, FIFO и др.

Существует несколько типов драйверов для преобразователей интерфейсов FTDI, разработанных непосредственно FTDI или другими компаниями. Это VCP-драйверы: при подключении к хосту устройств на базе FT2XX каждому из них может назначаться свой виртуальный COM-порт либо могут использоваться D2XX Direct Drivers. Архитектура D2XX-драйвера состоит из Windows WDM-драйвера, работающего с устройством посредством Windows USB-стека и DLL, который связывает приложение (написанное на Visual C++, C++ Builder, Delphi, VB и т.д.) с WDM-драйвером.

Особенностью драйверов является их максимальная простота при уста-

Таблица 5. Низкоскоростные (1,5 Мбит/с) USB-контроллеры фирмы Cypress

Тип	Оконечных устройств	Ядро	Объем памяти, Кб	Тип памяти	Число портов I/O
CY7C63001A	2	M8 (8-bit RISC)	4	EPROM	12
CY7C63101A	2	M8 (8-bit RISC)	4	EPROM	16
CY7C63221A	2	M8 (8-bit RISC)	3	EPROM	8+2
CY7C63231A	2	M8 (8-bit RISC)	3	EPROM	10+2
CY7C633xx	3	M8C (8-bit RISC)	3	Flash	13
CY7C63413	3	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	32
CY7C63513	3	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	40
CY7C63612	3	M8 (8-bit RISC)	6	EPROM	16
CY7C63613	3	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	16
CY7C63743	3	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	16+1
CY7C63723	3	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	10+1
CY7C638xx	3	M8C (8-bit RISC)	8	Flash	19
CY7C639xx	3	M8C (8-bit RISC)	8	Flash	36

Таблица 6. Полноскоростные USB-контроллеры фирмы Cypress

Тип	Передача данных	Ядро	Объем памяти, Кб	Тип памяти	Портов	Периферия
AN2720SC-01	Bulk, Interrupt	–	4	RAM	–	–
AN2136	Bulk, Interrupt	Расширенное 8051	8	RAM	8	8-bit Databus, GPIO, I ² C, Turbo Mode, UART
AN2135	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	8	RAM	8	8-bit Databus, GPIO, I ² C, Turbo Mode, UART
AN2131	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	8	RAM	18	GPIO, I ² C, UART
CY7C64603	Bulk, Interrupt	Расширенное 8051	8	RAM	16	8-bit Databus, DMA, GPIO, I ² C, UART
CY7C64613	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	8	RAM	40	16-bit Databus, DMA, GPIO, I ² C, Memory Expansion Port, UART
SL11R	Bulk, Interrupt, Isochronous	CY16 (16-bit RISC)	3	RAM	32	16-bit Databus, DMA, GPIO, I ² C, UART
CS5954AM	Bulk, Interrupt, Isochronous	CY16 (16-bit RISC)	3	RAM	32	16-bit Databus, DMA, GPIO, I ² C, UART
SL11R-IDE	Bulk, Interrupt, Isochronous	CY16 (16-bit RISC)	3	RAM	32	16-bit Databus, DMA, GPIO, I ² C, UART
SL811S	Bulk, Interrupt, Isochronous	–	0,25	SRAM	–	–
CY7C64113	Bulk, Interrupt, Isochronous	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	36	DAC Port, GPIO, HAPI, I ² C, Programmable Drive
CY7C64013	Bulk, Interrupt, Isochronous	M8 (8-bit RISC)	8	EPROM	19	GPIO, HAPI, I ² C, Programmable Drive
CY7C64713	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	16	EEPROM	–	–

новке и использовании, доступность (все они выложены на сайте компании) и широкое разнообразие, обеспечивающее возможность применения практически на любой операционной системе. Все драйверы сопровождаются руководствами и техническими описаниями.

Эти драйверы вместе с микросхемами преобразователей интерфейсов разработаны для тех случаев, когда необходимо быстро и без особых затрат сделать свою продукцию совместимой с USB, сохраняя при этом совместимость и с ранее разработанным программным обеспечением под COM-порт. При установке драйвера в операционной системе добавляется виртуальный COM-порт (дополнительно к существующим аппаратно), и программное обеспечение обращается к USB-устройству так же, как к стандартному COM-порту, используя стандартные вызовы VCOMM API или с использованием библиотек виртуального порта.

Для уменьшения экономических и временных затрат при разработке и внедрении компанией разработано более 10 комплектов разработки и готовых модулей.

CYPRESS SEMICONDUCTOR

Cypress Semiconductor является одним из основных мировых производителей специализированных микросхем USB. Линейка продуктов Cypress включает в себя полный спектр USB-микроконтроллеров, работающих со скоростями, которые соответствуют всем спецификациям USB: Low-speed – 1,5 Мбит/с; Full-speed – 12 Мбит/с; High-speed – 480 Мбит/с.

Помимо этого фирмой выпускаются микросхемы для преобразования

Таблица 7. Высокоскоростные USB 2.0 контроллеры фирмы Cypress

Тип	Оконечных устройств	Передача данных	Ядро	Объем памяти, Кб	Тип памяти
CY7C68000	N/A	Bulk, Interrupt, Isochronous	–	–	–
CY7C68001	5	Bulk, Interrupt, Isochronous	–	–	–
CY7C68013	7	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	8	RAM
CY7C68013A	7	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	16	RAM
CY7C68014A	7	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	16	RAM
CY7C68015A	7	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	16	RAM
CY7C68016A	7	Bulk, Interrupt, Isochronous	Расширенное 8051	16	RAM
CY7C68023	–	Bulk Only Transport	–	–	–
CY7C68024	–	Bulk Only Transport	–	–	–
CY7C68300A	4	Bulk Only Transport	–	2	Single-port RAM
CY7C68300B	4	Bulk Only Transport	–	2	Single-port RAM
CY7C68301B	4	Bulk Only Transport	–	2	Single-port RAM
CY7C68320	4	Bulk Only Transport	–	2	Single-port RAM
CY7C68321	4	Bulk Only Transport	–	2	Single-port RAM
ISD-300A1	4	Bulk Only Transport	–	8	Single-port RAM

USB в последовательные и параллельные интерфейсы, которые включают в себя высокоскоростные мосты USB 2.0 – ATA/ATAPI/UTMI.

Наибольшим интересом у разработчиков пользуется универсальный контроллер EZ-USB FX2LP – микросхема CY7C68013A. Рабочая конфигурация контроллера определяется программой, загруженной во внутреннюю оперативную память. Именно эта возможность делает контроллер универсальным: в зависимости от задачи либо его можно настроить для выполнения тех или иных функций, либо пользователь может обновлять программное обеспечение готовых приборов в процессе эксплуатации.

Использование микросхем Cypress является идеальным решением для быстрой замены интерфейса RS232 на современный USB в разработанных устройствах. Разработчику предлагается широкий набор программного обеспечения: драйверы Windows, утилиты для тестирования обмена данных, примеры приложений с исходными кодами. Низкосо-

коростные USB-контроллеры фирмы Cypress приведены в табл. 5, полноскоростные – в табл. 6, высокоскоростные – в табл. 7.

Представленные в статье производители решений для организации USB являются лишь наиболее распространенными в России, но далеко не единственными. Из вышеизложенного видно, что для перевода разработки на современный интерфейс связи существует несколько разнообразных подходов, различающихся по стоимости, сложности и скорости реализации и скорости обмена. Выбор же того или иного варианта индивидуален для каждой конкретной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.atmel.com>.
2. <http://www.microchip.com>.
3. <http://ftdi.com>.
4. <http://www.cypress.com>.
5. Universal Serial Bus Specification.
6. Азуров П.В. Интерфейсы USB. Практика использования и программирования. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.

