

Universal serial bus

¹Кафедра информационных технологий и систем
Национальная металлургическая академия Украины

6 октября 2011 г.

USB (Universal Serial Bus) - универсальная последовательная шина. Универсальный порт для подключения различных устройств и организации обмена между ними. Описание USB состоит из ряда спецификаций, которые разрабатываются группой компаний в рамках некоммерческой организации USB Implementers Forum . Основной целью данной разработки было создания универсального порта ПК для подключения потоковых устройств. Спецификация USB 2.0 является на сегодняшний день основным коммуникационным портом персональных компьютеров. USB представляет открытый протокол связи (нет лицензионного сбора), что способствовало его распространению и популярности во всём мире.

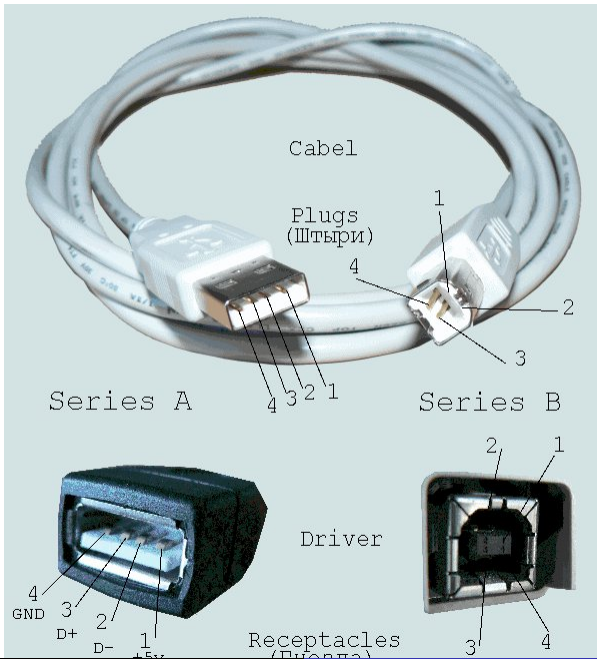
Характеристики USB:

- Кабель: 5 проводов
- Каналы данных: 1 (полудуплекс)
- Количество сервисных сигналов: 9(зависимые)
- Состояний линии связи: 4
- Тип обмена: асинхронный одноточечный
- Скорость обмена: до 12 Мб/с
- Длина пакета: 4...1030 байт
- Дальность связи: 5 м

Физический уровень интерфейса USB сделан проще COM порта и тем более, проще интерфейса RS-232. USB был разработан для простого применения. Функциональность USB в основном увеличивается за счет программного уровня интерфейса, которая не требует аппаратных затрат.

- Расширение функциональности компьютера. На тот момент для подключения внешних периферийных устройств к персональному компьютеру использовалось несколько "традиционных" (англ. legacy) интерфейсов (PS/2, последовательный порт, параллельный порт, порт для подключения джойстика, SCSI), и с появлением новых внешних устройств разрабатывали и новый разъём. Предполагалось, что USB заменит их все и заодно подхлестнёт разработку нетрадиционных устройств.
- Подключить к компьютеру мобильный телефон. В то время поднимались на ноги компьютерные сети, телефоны переходили на цифровую передачу голоса, и ни один из имеющихся интерфейсов не годился для передачи с телефона на компьютер как речи, так и данных.

- Простота для пользователя. Старые интерфейсы (например, СОМ- и LPT-порты) были крайне просты для разработчика, но не давали настоящего "plug and play". Требовались новые механизмы взаимодействия компьютера с низко- и среднескоростными внешними устройствами – возможно, более сложные для конструкторов, но надёжные, дружественные и пригодные к "горячему" подключению.



Кабель с разными разъёмами не позволяет соединять драйвера Upstream с Upstream и Downstream с Downstream.

Это обусловлено несимметричностью интерфейса USB 1.1

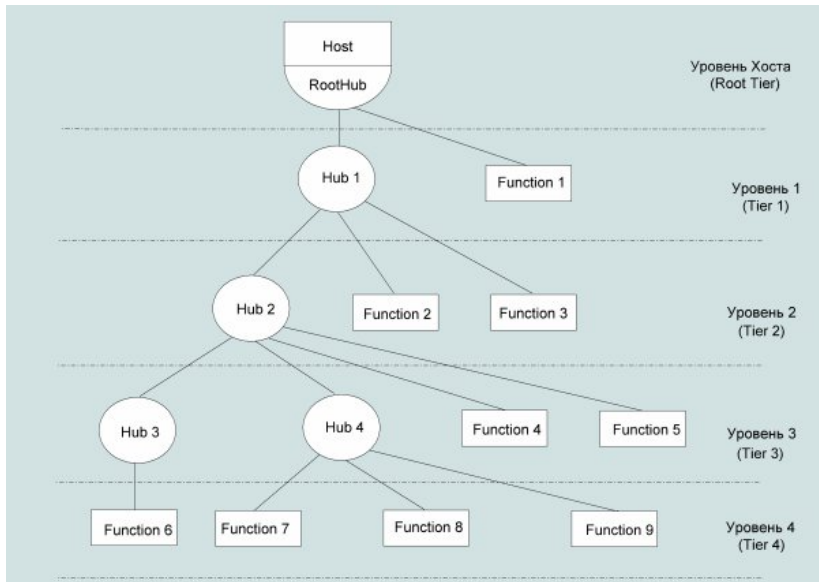
Максимальная длина кабеля для режима LS(LowSpeed) равна 3 м.

Максимальная длина кабеля для режима FS(FullSpeed) равна 5 м.

Сигналы D- и D+ в кабеле (FS) передаются по витой паре с волновым сопротивлением 90 Ом.

В кабеле (LS) витая пара не применяется.

На физическом уровне сеть USB v.1.1 представляет топологию многоярусной звезды (на самом деле дерево). Максимальное количество ярусов, предусмотренное спецификацией USB v.1.1 , равно четырем. Отсюда, максимальный радиус сети равен 20 метрам. Максимальное количество точек (хабов и функций) сети равно 127.



Шина строго ориентирована, имеет понятие "главное устройство" (хост, он же USB контроллер, обычно встроен в микросхему южного моста на материнской плате) и "периферийные устройства". Шина имеет древовидную топологию, поскольку периферийным устройством может быть разветвитель (hub), в свою очередь имеющий несколько нисходящих разъемов "от хоста".

USB поддерживает "горячее" подключение и отключение устройств. Это достигнуто увеличенной длиной заземляющего контакта разъёма по отношению к сигнальным. При подключении разъёма USB первыми замыкаются заземляющие контакты, потенциалы корпусов двух устройств становятся равны и дальнейшее соединение сигнальных проводников не приводит к перенапряжениям, даже если устройства питаются от разных фаз силовой трёхфазной сети.

На логическом уровне устройство USB поддерживает транзакции приема и передачи данных. Каждый пакет каждой транзакции содержит в себе номер конечной точки (endpoint) на устройстве. При подключении устройства драйверы в ядре ОС читают с устройства список конечных точек и создают управляющие структуры данных для общения с каждой конечной точкой устройства. Совокупность конечной точки и структур данных в ядре ОС называется каналом (pipe).

Оконечные точки, а значит, и каналы, относятся к одному из 4 классов – поточный (bulk), управляющий (control), изохронный (isoch) и прерывание (interrupt). Низкоскоростные устройства, такие, как мышь, не могут иметь изохронные и поточные каналы.

Управляющий канал предназначен для обмена с устройством короткими пакетами "вопрос-ответ". Любое устройство имеет управляющий канал 0, который позволяет программному обеспечению ОС прочитать краткую информацию об устройстве, в том числе коды производителя и модели, используемые для выбора драйвера, и список других оконечных точек.

Канал прерывания позволяет доставлять короткие пакеты и в том, и в другом направлении, без получения на них ответа/подтверждения, но с гарантией времени доставки – пакет будет доставлен не позже, чем через N миллисекунд. Например, используется в устройствах ввода (клавиатуры/мыши/джойстики).

Изохронный канал позволяет доставлять пакеты без гарантии доставки и без ответов/подтверждений, но с гарантированной скоростью доставки в N пакетов на один период шины (1 КГц у low и full speed, 8 КГц у high speed). Используется для передачи аудио- и видеоинформации.

Поточный канал дает гарантию доставки каждого пакета, поддерживает автоматическую приостановку передачи данных по нежеланию устройства (переполнение или опустошение буфера), но не дает гарантий скорости и задержки доставки. Используется, например, в принтерах и сканерах.

Время шины делится на периоды, в начале периода контроллер передает всей шине пакет "начало периода". Далее в течение периода передаются пакеты прерываний, потом изохронные в требуемом количестве, в оставшееся время в периоде передаются управляющие пакеты и в последнюю очередь поточные.

Активной стороной шины всегда является контроллер, передача пакета данных от устройства к контроллеру реализована как короткий вопрос контроллера и длинный, содержащий данные, ответ устройства. Расписание движения пакетов для каждого периода шины создается совместным усилием аппаратуры контроллера и ПО драйвера, для этого многие контроллеры используют крайне сложный DMA со сложной DMA-программой, формируемой драйвером.

Размер пакета для оконечной точки — константа вшитая в таблицу оконечных точек устройства константа, изменению не подлежит. Он выбирается разработчиком устройства из числа тех, что поддерживаются стандартом USB

USB 1.0 спецификация выпущена 15 января 1996 года.

Технические характеристики:

- два режима передачи данных:
 - режим с высокой пропускной способностью (Full-Speed) – 12 Мбит/с
 - режим с низкой пропускной способностью (Low-Speed) – 1,5 Мбит/с
- максимальная длина кабеля для режима с высокой пропускной способностью – 5 м
- максимальное количество подключённых устройств (включая размножители) – 127
- возможно подключение устройств, работающих в режимах с различной пропускной способностью к одному контроллеру USB
- напряжение питания для периферийных устройств - 5 В
- максимальный ток, потребляемый периферийным устройством - 500 мА

USB 2.0 спецификация выпущена в апреле 2000 года. USB 2.0 отличается от USB 1.1 введением режима Hi-speed. Для устройств USB 2.0 регламентировано три режима работы:

- Low-speed, 10–1500 Кбит/с (используется для интерактивных устройств: клавиатуры, мыши, джойстики)
- Full-speed, 0,5–12 Мбит/с (аудио-, видеоустройства)
- Hi-speed, 25–480 Мбит/с (видеоустройства, устройства хранения информации)

Хотя пиковая пропускная способность USB 2.0 составляет 480 Мбит/с (60 Мбайт/с), на практике обеспечить пропускную способность, близкую к пиковой, не удаётся (33,5 Мбайт/сек на практике). Это объясняется достаточно большими задержками шины USB между запросом на передачу данных и собственно началом передачи. Например, шина FireWire(400), хотя и обладает меньшей пиковой пропускной способностью 400 Мбит/с, что на 80 Мбит/с (10 Мбайт/с) меньше, чем у USB 2.0, в реальности позволяет обеспечить бо́льшую пропускную способность для обмена данными с жёсткими дисками и другими устройствами хранения информации. В связи с этим разнообразные мобильные накопители уже давно "упираются" в недостаточную практическую пропускную способность USB 2.0.

Окончательная спецификация USB 3.0 появилась в 2008 году. Созданием USB 3.0 занимались компании Intel, Microsoft, Hewlett-Packard, Texas Instruments, NEC и NXP Semiconductors. В спецификации USB 3.0 разъёмы и кабели обновлённого стандарта физически и функционально совместимы с USB 2.0. Кабель USB 2.0 содержит в себе четыре линии – пару для приёма/передачи данных, плюс и ноль питания. В дополнение к ним USB 3.0 добавляет еще четыре линии связи (две витых пары), в результате чего кабель стал гораздо толще. Новые контакты в разъемах USB 3.0 расположены отдельно от старых на другом контактном ряду

Спецификация USB 3.0 повышает максимальную скорость передачи информации до 4,8 Гбит/с – что на порядок больше 480 Мбит/с, которые может обеспечить USB 2.0. Версия 3.0 может похвастаться не только более высокой скоростью передачи информации, но и увеличенной силой тока с 500 мА до 900 мА. Отныне пользователь может не только подпитывать от одного хаба большее количество устройств, но и сами устройства во многих случаях смогут избавиться от отдельных блоков питания.

Thunderbolt (ранее известный как Light Peak) (англ. thunderbolt – удар молнии) – перспективный интерфейс для подключения периферийных устройств к компьютеру, разработанный корпорацией Intel и представленный на рынке компанией Apple. Позиционируется как замена существующих проводных интерфейсов, таких как USB, SCSI, SATA и FireWire.

Изначально планировалось, что передача данных будет осуществляться только по оптическому волокну, однако в дальнейшем стало известно, что многие устройства будут использовать обычные медные провода.[2]

В первом поколении устройств заявлена дуплексная скорость передачи данных 10 Гбит/с на расстояния до 100 метров.

В отличие от RS-232 и аналогичных последовательных интерфейсов, где формат посылаемых данных не имеет четко организованной структуры, для USB шины разграничены различные слои протоколов. Пусть эти слова не пугают Вас пока Вы не ознакомились полностью со всей структурой пакета. Как только Вы поймете что происходит на шине, то вы разберетесь, что Вас затронут протоколы лишь верхнего уровня, всё канальное кодирование, детектирование событий и ошибок возьмет на себя USB контроллер.

Каждая USB транзакция состоит из следующих частей:

- Признак пакета (Заголовок определяющий что далее будет следовать)
- Пакет данных (Опционально)
- Пакет статуса транзакции (Используется для подтверждения нормального завершения транзакции и обеспечения коррекции ошибок при передаче)

USB пакет состоит из следующих полей:

Поле синхронизации (Sync Field)

Все пакеты должны начинаться с поля синхронизации. Поле синхронизации имеет размер 8 бит для низкоскоростных и полноскоростных устройств или 32 бита для высокоскоростных устройств и используется для подсинхронизации тактового генератора, встроенного в USB контроллер. Последние два бита поля синхронизации являются маркером, который используется для идентификации конца области синхронизации и начала PID поля.

Поле идентификатора пакета (PID Field) Идентификатор пакета следует непосредственно после поля синхронизации в каждом передаваемом USB пакете. PID состоит из четырехбитного типа пакета, следующего за четырехбитным проверочным полем

Контрольная область PID генерируется как инверсия четырехбитного типа пакета и необходима для устранения ложного декодирования следующих за этим полем данных. Ошибка PID детектируется в том случае, когда инвертированная контрольная область не совпадает с соответствующими битами идентификатора пакета. Любой PID полученный с ошибкой или неуказанный в нижеследующей таблице, должен быть проигнорирован получателем пакета.

Поле адреса устройства (Addr Field) Поле адреса используется для идентификации к какому устройству направлен текущий пакет. Размерность поля - 7 бит, что позволяет адресовать 127 уникальных USB устройств. После сброса или включения питания, адрес устройства устанавливается по умолчанию в 0 и должен быть запрограммирован ХОСТом в ходе процесса эnumерации. Адрес 0 (заданный по умолчанию) зарезервирован для вновь подключаемых устройств и не может быть назначен для нормальной работы.

Поле адреса конечной точки (Endpoint Field) Поле адреса конечной точки имеет размерность 4 бита и позволяет размещать в устройстве до 16 конечных точек. Все функции должны поддерживать одну управляющую '0' конечную точку. Низкоскоростные устройства поддерживают только три канала передачи: управляющий канал, связанный с нулевой конечной точкой и два дополнительных канала (две Interrupt конечные точки). Полноскоростные устройства поддерживают максимум до 16 конечных точек.

Поле адреса конечной точки (Endpoint Field) Поле адреса конечной точки имеет размерность 4 бита и позволяет размещать в устройстве до 16 конечных точек. Все функции должны поддерживать одну управляющую '0' конечную точку. Низкоскоростные устройства поддерживают только три канала передачи: управляющий канал, связанный с нулевой конечной точкой и два дополнительных канала (две Interrupt конечные точки). Полноскоростные устройства поддерживают максимум до 16 конечных точек.

Поле адреса конечной точки (Endpoint Field) Поле адреса конечной точки имеет размерность 4 бита и позволяет размещать в устройстве до 16 конечных точек. Все функции должны поддерживать одну управляющую '0' конечную точку. Низкоскоростные устройства поддерживают только три канала передачи: управляющий канал, связанный с нулевой конечной точкой и два дополнительных канала (две Interrupt конечные точки). Полноскоростные устройства поддерживают максимум до 16 конечных точек.

Поле адреса конечной точки (Endpoint Field) Поле адреса конечной точки имеет размерность 4 бита и позволяет размещать в устройстве до 16 конечных точек. Все функции должны поддерживать одну управляющую '0' конечную точку. Низкоскоростные устройства поддерживают только три канала передачи: управляющий канал, связанный с нулевой конечной точкой и два дополнительных канала (две Interrupt конечные точки). Полноскоростные устройства поддерживают максимум до 16 конечных точек.

\hat{E}