



Тема 12. Последовательные интерфене 2008 USB-IE All rights reserved.

Лекция 25

Универсальная последовательная шина USB. Перспективы.

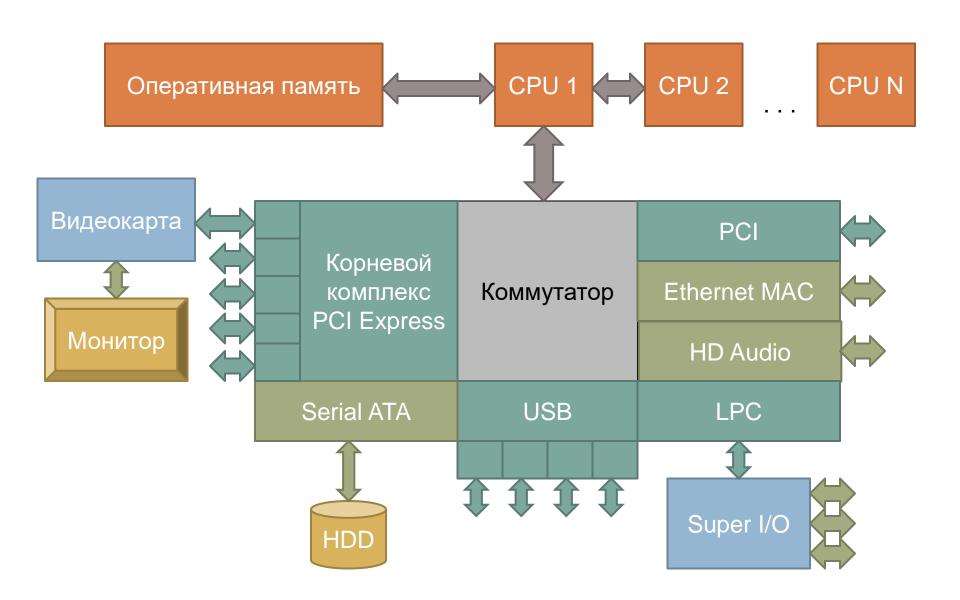
Универсальный последовательный интерфейс USB.

Архитектура, топология, характеристики. Уровни

протокола, форматы пакетов, режимы обмена.

Беспроводной USB (WUSB).

Архитектура современного ПК



Шина USB

Интерфейс USB (Universal Serial Bus) – универсальный стандарт подключения к ПК и другим вычислительным устройствам различного периферийного оборудования. Стандарт версии 1.0 был опубликован в 1996 году, общепринятой версией является 1.1 (1998 г.). Версия 2.0 появилась в 2000 г., версия 3.0 – в 2007 г.

Координацией разработок в области USB занимается USB Implementers Forum (USB IF), в который входят все ведущие производители контроллеров и периферийных устройств.

Шина обеспечивает одну из четырех скоростей обмена данными (теор.):

Low Speed (LS) — 1.5 Мбит/с

0. 1 MБ/c

Full Speed (FS) – 12 Мбит/с

1 МБ/c

High Speed (HS, начиная с 2.0) – 480 Мбит/с

60 МБ/с

Super Speed (SS, начиная с 3.0) – 4,8 Гбит/с

625 MБ/с

• 10 Gbps or 1250 MB/s

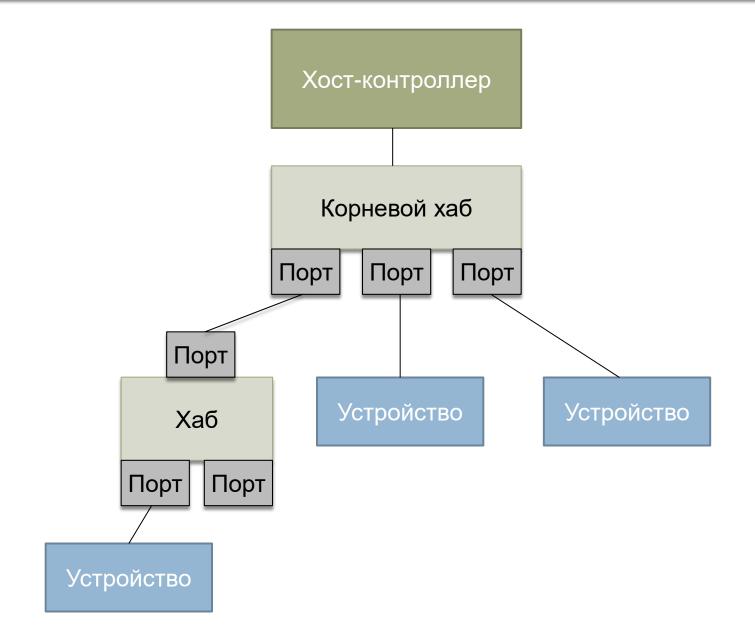
Общая характеристика

- Последовательная передача данных (нет отдельных линий для данных, адреса и управления— все протокольные функции приходится выполнять, пользуясь одной парами сигнальных проводов)
- Строится **на основе пересылок пакетов** определенным образом организованных цепочек бит.
- Пакет пересылается целиком, а синхронизация возможна только по принимаемому потоку бит.
- Способна передавать изохронный трафик аудио- и видеоданных (отправка кадров данных происходит в заданные (известные приемнику и отправителю) моменты времени. При этом данные, передаваемые одним узлом с постоянной скоростью, буду поступать к приемнику с той же скоростью.

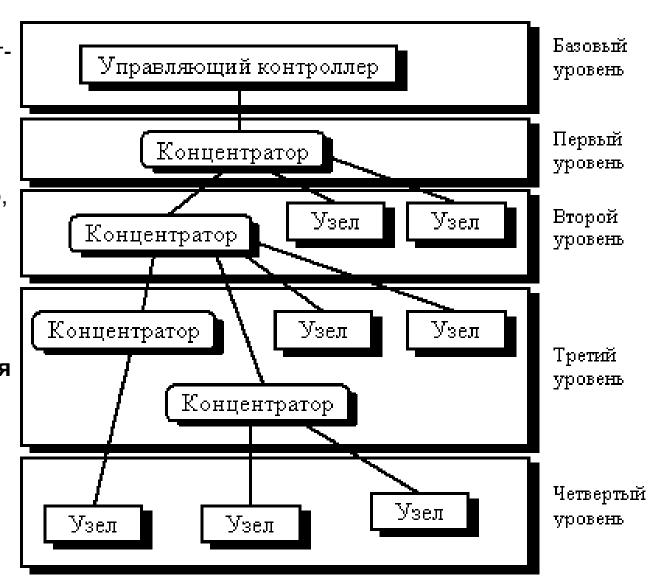
Архитектура USB

- В основе архитектуры USB лежит **принцип централизованного управления** всей сетью подключенных устройств со стороны одного контроллера, за которым стоит хост-система.
- Хост-контроллер, с одной стороны, обслуживает набор устройств, с другой обслуживает набор прикладных программных процессов.
- Шина USB обеспечивает централизованное планирование и распределение трафика между подключенными устройствами, их обнаружение, инициализацию, «горячее» подключение/отключение, надежный обмен данными, приоритетный трафик для важной информации, а также питание и управление энергопотреблением.
- Логическая топология USB звезда, которой управляет единственный инициатор обмена хост-контроллер: для хост-контроллера хабы создают иллюзию непосредственного подключения каждого устройства.
- Физическая топология **многоярусная звезда** с хост-контроллером в центре.

Топология USB



Шина USB является хостцентрической: единственным ведущим устройством, которое управляет обменом, является хост-компьютер, а все присоединенные к ней периферийные устройства исключительно ведомые. Шина допускает до 5 уровней каскадирования хабов (не считая корневого). Поскольку комбинированные устройства внутри себя содержат хаб, их подключения к хабу 6-го яруса уже недопустимо.



Устройства USB

- Устройство USB это либо функция, либо хаб. Оно логически представляет собой набор конечных точек (End Points, EP).
- Устройство-хаб (hub) только обеспечивает дополнительные точки подключения устройств к шине.
- Устройство-функция (function) USB предоставляет системе дополнительные функциональные возможности, например подключение к ISDN* (*Integrated Services Digital Network цифровая сеть с интегрированными услугами*), цифровой джойстик, акустические колонки с цифровым интерфейсом и т. п.
- Комбинированное устройство (compound device), содержащее несколько функций, представляется как хаб с подключенными к нему несколькими устройствами.

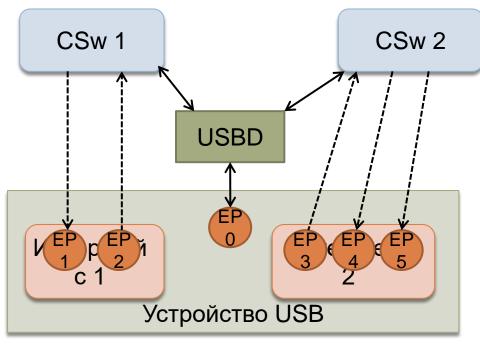
^{*}ISDN – цифровая сеть с интеграцией услуг. Обеспечивает полностью цифровые соединения между оконечными устройствами для поддержки широкого спектра речевых и информационных услуг.

Модель USB

CSw (Client Software) - клиентский драйвер устройства

USBD - единый драйвер шины USB - заведует обнаружением, конфигурированием, предоставлением служб, управлением трафиком для всех устройств USB

Прикладное ПО может обратиться к устройствам USB через CSw. Драйвер CSw самостоятельно к аппаратным ресурсам (портам, памяти, прерываниям и т.п.) не обращается.



С ресурсами хост-контроллера USB работает его драйвер (HCD), который воспринимает запросы от USBD и формирует на их основе очереди запросов, обращается к регистрам хост-контроллера, контролирует все процессы обмена

Архитектура USB - Программная часть

- Клиентское ПО (CSw, Client Software) драйверы устройств USB, обеспечивающие доступ к устройствам со стороны прикладного ПО. Эти драйверы взаимодействуют с устройствами только через программный интерфейс с общим драйвером USB (USBD). Непосредственного обращения к каким-либо регистрам аппаратных средств драйверы устройств USB не выполняют;
- Драйвер USB (USBD, USB Driver), «заведующий» всеми USBустройствами системы, их нумерацией, конфигурированием, предоставлением служб, распределением пропускной способности шины, мощности питания и т. п.;
- Драйвер хост-контроллера (HCD, Host Controller Driver), преобразующий запросы ввода/вывода в структуры данных, размещенные в коммуникационной области оперативной памяти, и обращающийся к регистрам хост\$контроллера. Хост-контроллер выполняет физические транзакции, руководствуясь этими структурами данных.
- Драйверы USBD и HCD составляют хост-часть ПО USB; спецификация USB очерчивает круг их задач, но не описывает интерфейс между ними.

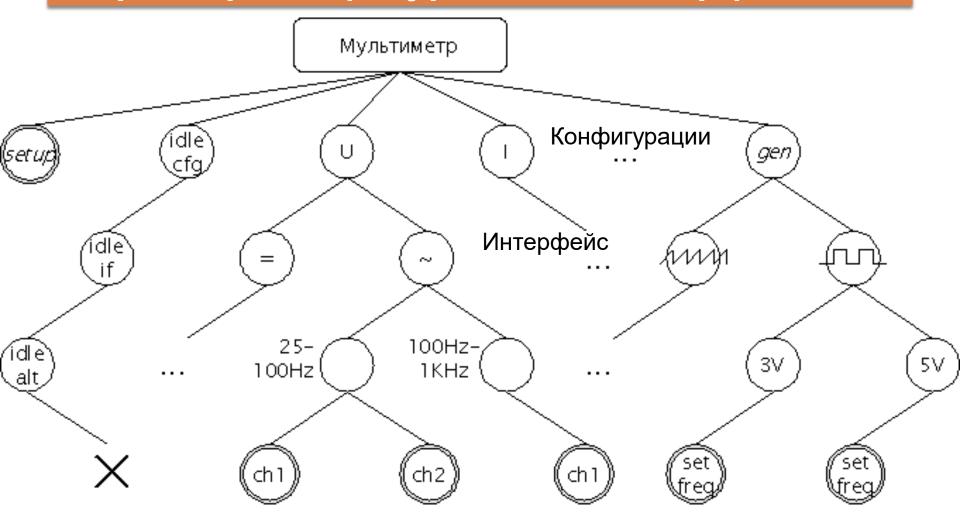
- Каждое устройство получает от хоста 7-битный адрес, начиная с 1; всего теоретически допустимо подключение до 127 устройств.
- Каждая EP устройства имеет 4-битный номер и направление передачи IN или OUT, характеризуется поддерживаемыми типами транзакций, размерами пакетов, частотами обслуживания.
- Точка ЕР0 присутствует всегда, она служит для общего управления устройством.
- **Набор ЕР формирует интерфейс** логически законченную функцию устройства. При наличии нескольких интерфейсов устройство будет обслуживаться несколькими клиентскими драйверами.
- Набор интерфейсов это конфигурация (каждой конфигурации может соответствовать несколько интерфейсов)

Устройство может поддерживать несколько конфигураций работы. Одну из них выбирает хост в зависимости от доступности ресурсов.

Конфигурации

- Каждое устройство имеет одну или несколько конфигураций, одна из которых выбирается во время инициализации/подключения.
- При выборе конфигурации определяются требования к электропитанию и пропускной способности.
- <u>К примеру</u>, колонки USB могут иметь интерфейс для звуковых данных (Audio Class) и интерфейс для ручек, кнопок, шкал (HID Class).
- Все интерфейсы в конфигурации активны в одно и то же время и могут быть подключены к различным драйверам. Каждый интерфейс может иметь альтернативы, дающие различное качество вспомогательных параметров. К примеру, видеокамеры, используемые для задания различных размеров кадров и количества кадров в секунду.,

Пример конфигураций и интерфейсов



- Конфигурация U предназначена для установки режима измерения U (узел U). Интерфейс 1 обозначает измерение постоянного напряжения (узел "="); интерфейс 2 измерение переменного напряжения (узел "~"). Диапазоны частот: от 25Гц до 100Гц и от 100Гц до 1КГц. На низких частотах мультиметр способен измерять переменное напряжение по 2-м входным каналам (листья ch1 и ch2), что определяет наличие в данной альтернативной установке 2-х конечных точек направления IN. На частотах от 100Гц до 1КГц прибор способен воспринимать сигнал с одного канала, что определяет только одну конечную точку для данной альтернативной установки.
- <u>Конфигурация I</u> используется для I (узел I). Распределение ее подрежимов может быть аналогично таковому для измерения напряжения.
- Конфигурация G предназначена для установки режима генератора: пилообразные и прямоугольные импульсы. Для выбора одного из этих вариантов используются 2 интерфейса конфигурации G. Допустим, устройство может генерировать импульсы со значением амплитуды, принадлежащим некоторому дискретному ряду, например, 3В и 5В. Альтернативные установки позволяют выбрать конкретную амплитуду генерируемого сигнала. Конечные точки ер1 направления ОUТ для каждой из альтернативной установок предназначены для задания частоты импульсов (Альтернативные установки могут иметь одновременно как точки направления IN, так и точки направления OUT).

Параметры конечной точки и канала

Функция -> Конечная точка (EndPoint):

- требуемая частота доступа к шине и допустимые задержки обслуживания;
- полоса пропускания
- номер
- требования к обработке ошибок
- макс. размеры пакетов
- тип обмена
- направление обмена

Канал (Pipe) — модель передачи данных между EndPoint и Host **Два типа**:

Поток (Stream) Сообщения (Message)

Доставка пакетов:

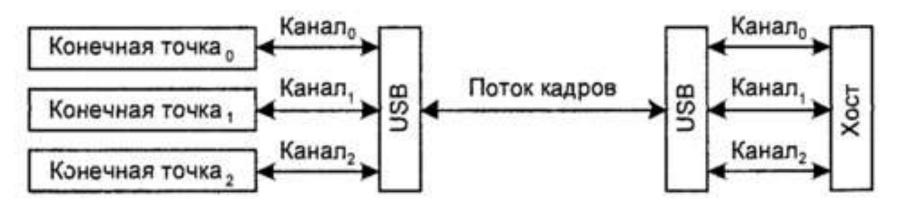
FIFO

Всегда есть EndPoint #0:

- •Конфигурирование
- •Управление
- •состояние

Каналом (pipe) в USB называется модель передачи данных между хост-контроллером и конечной точкой устройства. Имеются два типа каналов: потоки и сообщения.

Параметры канала



С каналами связаны характеристики, соответствующие конечной точке:

полоса пропускания,

тип сервиса,

размер буфера и т. п..

Каналы организуются при конфигурировании устройств USB. Для каждого включенного устройства существует канал сообщений (Control Pipe 0), по которому передается информация конфигурирования, управления и состояния.

Типы каналов

- Поток (stream) доставляет данные от одного конца канала к другому, он всегда однонаправленный. Один и тот же номер конечной точки может использоваться для двух поточных каналов ввода и вывода. Поток может реализовывать следующие типы обмена: передача массивов, изохронный и прерывания.
- Сообщение (message) имеет формат, определенный спецификацией USB. Хост посылает запрос к конечной точке, после которого передается (принимается) пакет сообщения, за которым следует пакет с информацией состояния конечной точки. Последующее сообщение нормально не может быть послано до обработки предыдущего, но при отработке ошибок возможен сброс необслуженных сообщений. Двусторонний обмен сообщениями адресуется к одной и той же конечной точке.

Архитектура USB - Аппаратная часть

- Периферийные устройства USB, несущие полезные функции (USB-functions);
- Хост-контроллер (Host Controller), обеспечивающий связь шины с центром компьютера, объединенный с корневым хабом (Root Hub), обеспечивающим точки подключения устройств USB. Существует два варианта хост-контроллеров USB 1.х UHC (Universal Host Controller) и OHC (Open Host Controller), поддерживающие скорости FS/LS; высокую скорость шины USB 2.0 (HS и только) поддерживает EHC (Enhanced Host Controller);
- Хабы USB (USB Hubs), обеспечивающие дополнительные точки подключения устройств;
- Кабели USB, соединяющие устройства с хабами

API хост-контроллера

- UHC самый простой вариант, требует программного планирования и формирования очередей запросов, извлечения из них результатов выполненных транзакций; поддерживает только режимы LS и FS.
- OHC альтернатива UHC, самостоятельно разбивает запросы на транзакции, планирует кадр, обслуживает точки с периодическими транзакциями по приоритетам (помещая их в узлы дерева обхода) и т.п.
- EHC работает только с портами, к которым подключены HSустройства, остальные переключает на компаньон-контроллеры (UHC или OHC).
- XHC новый вариант, введен для поддержки SS.

Задача хост-контроллера – планирование и отработка списков дескрипторов транзакций, формируемых драйвером НСD. Приоритет отдается периодическим транзакциям (изохронные и прерывания).

Запросы, пакеты, транзакции

- Клиентский драйвер (CSw) обращается с конечными точками USB при помощи виртуальных коммуникационных каналов (communication pipes). При обращении к каналу драйвер формирует пакет запроса ввода-вывода (IRP) и ожидает результата его отработки.
- Запросы обрабатывает USBD, который формирует транзакции обмена пакетами с устройствами USB. Важно, что время выполнения запроса и количество необходимых транзакций клиентский драйвер не контролирует.
- Комм. канал имеет определенное направление, с ним связана очередь запросов (поток), которая отрабатывается в порядке наполнения. Встречные каналы не синхронизируется. Исключение двунаправленный канал сообщений.
- Основной канал сообщений (Default pipe) принадлежит USBD, а не CSw.

Протокол шины USB

- Управлением всеми процессами обмена занимается хост, устройства могут только сигнализировать о некоторых состояниях, но не передавать данные по своей инициативе.
- Хост генерирует маркер начала кадра (**SOF**) каждые 1 мс, в котором содержится 11 младших бит номера кадра. В конце кадра есть интервал **EOF**, который используется для контроля за правильностью работы устройств.
- В режиме HS вводятся дополнительные 8 маркеров микрокадра (с интервалом 125 мкс).
- **Транзакции реализуются внутри кадров.** Каждая транзакция начинается с пакета-маркера (token), который посылает хост. Затем идет пакет данных и пакет подтверждения (последний может отсутствовать, напр. в изохронных транзакциях).

Протокол шины USB

Все обмены (транзакции) с устройствами USB состоят из двухтрех пакетов.

Каждая транзакция планируется и начинается по инициативе контроллера, который посылает пакет-маркер (token packet). Он описывает тип и направление передачи, адрес устройства USB и номер конечной точки. В каждой транзакции возможен обмен только между адресуемым устройством (его конечной точкой) и хостом. Адресуемое маркером устройство распознает свой адрес и готовится к обмену.

Последовательность пакетов в транзакциях

Источник данных (определенный маркером) передает **пакет данных** (или уведомление об отсутствии данных, предназначенных для передачи). На этом этапе транзакции, относящиеся к изохронным передачам, завершаются — здесь нет подтверждения приема пакетов. Для остальных типов передач работает механизм подтверждения, обеспечивающий гарантированную доставку данных. После успешного" приема пакета приемник данных посылает **пакет квитирования** (handshake packet)



Формат пакетов

Пакета любого типа состоит из следующих полей:

- Sync 8 бит синхронизации (или 32 в режиме HS)
- PID 4-битный тип пакета
- Check инверсный PID, для контроля
- ЕОР 2 бита, конец пакета

Пакет- маркер содержит также:

- Addr адрес (лог. номер) устройства, 7 бит
- EndP номер EP, 4 бита
- CRC, 5 бит

Пакет данных содержит также:

- Data блок данных, размер зависит от типа транзакции, 8*n
- CRC

Структура пакетов

Поле

Дпина, бит

Sync	Old	Check	Addr	EndP	CRC	EOP
8	4	4	7	4	5	2

Sync	PID	Check	Data	CRC	EOP	
8	4	4	8×n	16	2	

Sync	PID	Check	EOP
8	4	4	2

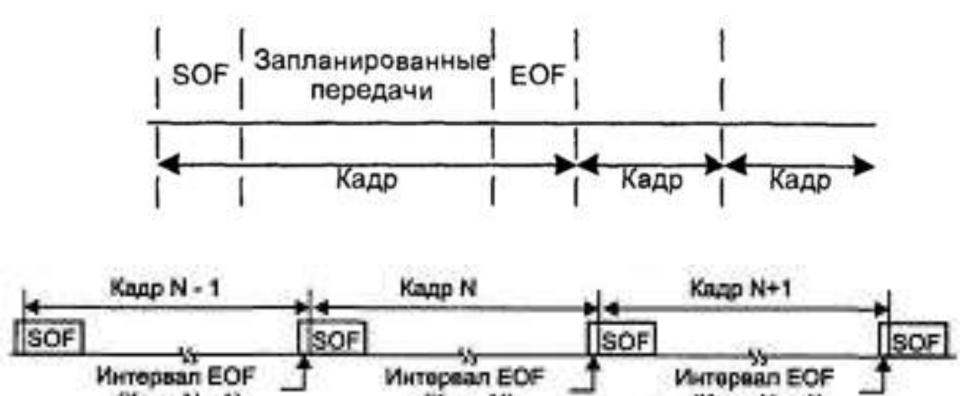
маркер;

пакет данных;

пакет квитирования

Поток кадров USB

Хост-контроллер организует обмены с устройствами согласно своему плану распределения ресурсов. Контроллер циклически (с периодом 1,0±0,0005 мс) формирует кадры (frames), в которые укладываются все запланированные транзакции.



Типы передач

Управляющие посылки (control transfers)

Конфигурирование

Гарантированная доставка

Full/Low Speed

Сплошные передачи (Bulk transfers)

Без контроля времени доставки

Гарантированная доставка

Full/Low Speed

Прерывания (Interrupt)

Короткие

Контроль времени обработки

Full/Low Speed

Изохронные передачи (Isochronous transfers)

Непрерывные передачи

Без контроля доставки

Согласованная полоса передачи

Реальные скорости передач для одного устройства

LS:

8 кбайт/с

FS:

изохронные: 1023 кбайт/с сплошные 1,216 Мбайт/с

HS:

изохронные 24,5 Мбайт/с

Управляющие посылки, передача данных

- Управляющие посылки (control transfers) используются для конфигурирования устройств во время их подключения и для управления устройствами в процессе работы. Протокол обеспечивает гарантированную доставку данных.
- Передачи массивов данных (bulk data transfers) это передачи без каких-либо обязательств по задержке доставки и скорости передачи. Передачи массивов могут занимать всю полосу пропускания шины, свободную от передач других типов. Приоритет этих передач самый низкий, они могут приостанавливаться при большой загрузке шины. Доставка гарантированная при случайной ошибке выполняется повтор. Передачи массивов уместны для обмена данными с принтерами, сканерами, устройствами хранения и т. п.

Прерывания, изохронные

- Прерывания (interrupts) короткие передачи, которые имеют спонтанный характер и должны обслуживаться не медленнее, чем того требует устройство.
- Предел времени обслуживания устанавливается в диапазоне 10-255 мс для низкой, 1-255 мс для полной скорости, на высокой скорости можно заказать и 125 мкс. При случайных ошибках обмена выполняется повтор. Прерывания используются, например, при вводе символов с клавиатуры или для передачи сообщения о перемещении мыши.
- Изохронные передачи (isochronous transfers) непрерывные передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности шины с гарантированным временем задержки доставки.

Полоса пропускания шины

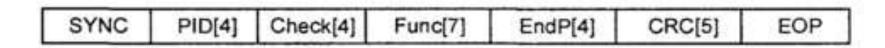
Полоса пропускания шины делится между всеми установленными каналами.

Выделенная полоса закрепляется за каналом, и, если установление нового канала требует такой полосы, которая не вписывается в уже существующее распределение, запрос на выделение канала отвергается.

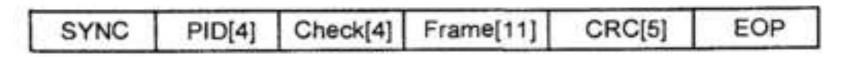
Архитектура USB предусматривает внутреннюю буферизацию всех устройств, причем чем большей полосы пропускания требует устройство, тем больше должен быть его буфер. Шина USB должна обеспечивать обмен с такой скоростью, чтобы задержка данных в устройстве, вызванная буферизацией, не превышала нескольких миллисекунд.

Типы пакетов-маркеров

- OUT маркер транзакции вывода (от хоста к устройству- т.е. содержит идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки);
- IN маркер транзакции ввода, несет идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки);
- SETUP маркер транзакции управления, несет идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки)
- PING транзакция проверки готовности EP Пробный маркер управления потоком (в USB 2.0)



•SOF – маркер начала микрокадра, несет 11-битный номер кадра (вместо полей Addr и EndP)



Типы пакетов данных

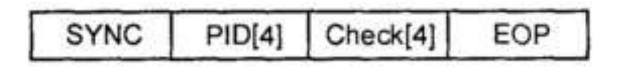
DATA0, DATA1 – Пакеты данных; чередование PID позволяет различать четные и нечетные пакеты для контроля правильности подтверждения

DATA2, MDATA – Дополнительные типы пакетов данных, в используемые в транзакциях с широкополосными изохронными точками (в USB 2.0 в режиме HS)

·SYNC PID[4] Check[4] Data[0..8192] CRC[16] EOP

Типы пакетов квитирования

- ACK положительное подтверждение (Подтверждение безошибочного приема пакета)
- NAK отрицательное, устройство не приняло пакет (Индикация занятости неготовности конечной точки к обмену данными, незавершенности обработки транзакции управления))
- STALL ошибка в EP, вызывает ее блокировку (Конечная точка требует вмешательства хоста)
- NYET только в HS, следующий пакет принят не будет (Подтверждение безошибочного приема, но указание на отсутствие места для приема следующего пакета максимального размера (в USB 2.0))



Специальные пакеты

PRE - Преамбула (маркер) передачи на низкой скорости (разрешает трансляцию данных на низкоскоростной порт хаба)

ERR Сигнализация ошибки в расщепленной транзакции (в USB 2.0)

SPLIT Маркер расщепленной транзакции (в USB 2.0). В зависимостиот назначения обозначается как SS (маркер запуска) и CS (маркер завершения), назначение определяется битом SC в теле маркера

SYNC	PID[4]	Check[4]	HubAddr[7]	CS[1]	Port[7]	S[1]	E[1]	ET[2]	CRC[5]	EOP
------	--------	----------	------------	-------	---------	------	------	-------	--------	-----

[7] адрес хаба; [1] флаг SC; [7] адрес порта; [1] поле S; [1] поле E;

[1] тип конечной точки ЕТ; [5] циклический контрольный код.

Флаг sc (Start/Complete) принимает значение 0, если это маркер запуска SS (Start Split) расщепленной транзакции, и 1, если это маркер завершения CS (Complete Split).

В зависимости от типа транзакции поля S и E трактуются по-разному. Для управляющих транзакций и прерываний поле S определяет скорость (0 — FS, 1 — LS). Для остальных транзакций, кроме OUT, поля S и E содержат нули. Для транзакции OUT значение полей [S:E] трактуется следующим образом:

Контрольная сумма

Протокол USB использует циклический избыточный код (CRC, Cyclic Redundancy Checksums) для защиты полей пакета.

Спецификация USB определяет следующие типы транзакций:

- •передача команды:
- •изохронная передача данных:
- •передача данных с подтверждением:
- •изохронный прием данных:
- •прием данных с подтверждением:

Протокол обмена пакетами

- Хост может только положительно отвечать на пакет IN.
- Для изохронных передач допустима потеря пакета без подтверждения.
- При ответе NAK хост должен повторять передачи; ведется счетчик попыток и ошибок, при исчерпании лимита канал отключается.
- В режиме HS хост может проверить пакетом PING доступность EP для передачи или приема данных, чтобы не тратить время на передачу впустую: при ответе NACK на PING транзакция будет отложена.
- Устройствам LS маркер начала кадра не передается, для них возможна передача только одного пакета за время кадра (1 мс).

Транзакции изохронных передач

- Изохронные транзакции обеспечивают гарантированную скорость обмена, но не обеспечивают надежности доставки.
- Транзакции изохронного вывода состоят из двух пакетов, посылаемых хост-контроллером, маркера *OUT* и пакета данных *DATA*. В транзакции ввода хост посылает маркер *IN*, на который устройство отвечает пакетом данных, возможно, и с нулевой длиной поля данных (если нет готовых данных). Любой другой ответ устройства (как и «молчание») хостом расценивается как ошибка, приводящая к остановке данного канала.
- При изохронном обмене имеется контроль достоверности
 (отбрасывание пакетов с ошибками) и целостности данных
 (обнаружение факта пропажи пакета). Контроль целостности основан
 на строгой детерминированности темпа обмена в соответствии со
 своим дескриптором точка ожидает транзакцию с периодом 2**bInterval—
 1 микрокадров
- Для *обычной изохронной конечной точки* в микрокадре возможна лишь одна транзакция, и ошибка при приеме пакета выражается в отсутствии принятых данных в микрокадре, в котором они ожидаются. контроллеры должны посылать пакеты только типа *DATAO*.

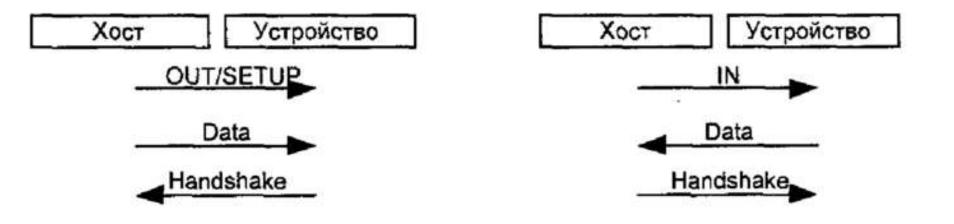
- Для широкополосных изохронных конечных точек (USB 2.0) в каждом микрокадре возможна передача до трех пакетов данных. Любой из этих пакетов может потеряться, и для обнаружения этой ситуации требуется нумерация пакетов внутри микрокадра. Для этой нумерации введено два новых типа пакетов данных: DATA2 и MDATA.
- В транзакциях *IN* идентификатором пакета устройство указывает, сколько еще пакетов оно собирается выдать в том же микрокадре, что позволяет хосту не делать лишних попыток ввода. Так, если в микрокадре передается один пакет, то это будет *DATA0*; если два последовательность будет *DATA1*, *DATA0*; три — *DATA2*, *DATA1*, *DATA0*. В транзакциях *OUT* для вывода не последнего пакета в микрокадре используется пакет MDATA (More Data), а идентификатор последнего пакета показывает, сколько было до него передано пакетов. Так, при одной транзакции вывода используется пакет *DATAO*, при двух последовательность *MDATA*, *DATA1*, при трех — *MDATA*, *MDATA*, DATA2. Во всех транзакциях, кроме последней в микрокадре, должны использоваться пакеты максимального размера. Отметим, что между широкополосными транзакциями в микрокадре могут вклиниваться другие транзакции.

Синхронизация при изохронной передаче

Изохронная передача данных связана с синхронизацией устройств, объединяемых в единую систему. Возьмем пример использования USB, когда к компьютеру подключен микрофон USB (источник данных) и колонки USB (приемник данных), и эти аудиоустройства связаны между собой через программный микшер (клиентское ПО). Каждый из этих компонентов может иметь собственные «понятия» о времени и синхронизации: микрофон, к примеру, может иметь частоту выборки 8 кГц и разрядность данных 1 байт (поток 64 Кбит/с), стереоколонки — 44,1 кГц и разрядность 2х2 байта (176,4 Кбит/с), а микшер может работать на частоте выборок 32 кГц. Микшер в этой системе является связующим звеном, и его источник синхронизации будем считать главным (master clock). Программный микшер обрабатывает данные пакетами, сеансы обработки выполняются регулярно с определенным периодом обслуживания (скажем, в 20 мс — частота 50 Гц). В микшере должны быть модули согласования частот выборки, которые объединяют несколько выборок в одну, если входная частота выше выходной, или «сочиняют» (интерполируют) новые промежуточные выборки, если выходная частота выше.

Протокол транзакции

Все обмены (транзакции) по USB состоят из **трех пакетов**. Каждая транзакция планируется и начинается по инициативе хостконтроллера, который посылает маркер-пакет (т. е. пакет типа token). Он описывает тип и направление передачи, адрес устройства USB и номер конечной точки. В каждой транзакции возможен обмен только между устройством (его конечной точкой) и хостом. Адресуемое маркером устройство распознает свой адрес и готовится к обмену. Источник данных, определенный маркером, передает пакет данных или уведомление об отсутствии данных, предназначенных для передачи. После успешного приема пакета приемник данных посылает пакет подтверждения (т. е. пакет типа Handshake).



передача данных от хоста

передача данных хосту

Синхронное соединение на USB

Естественным решением задачи обеспечения взаимодействия этих компонентов было бы установление между ними *синхронного соединения*, обеспечивающего передачу как потока данных, так и сигнала синхронизации.

Универсальная шина USB, обеспечивающая одновременное подключения множества устройств, синхронного интерфейса устройствам не предоставляет.

Синхронное соединение на USB основано на изохронных передачах.

В системе с USB приходится иметь дело со следующими частотами:

- *частота выборки* (sample rate) для источников (source) и приемников (sink) данных;
- *частота шины* USB частота кадров (1 кГц) для полной скорости и микрокадров (8 кГц) для высокой (с этой частотой все устройства USB «видят» маркеры начала (микро)кадров SOF);
- *частота обслуживания* частота, с которой клиентское ПО обращается к драйверам USB для передачи и приема изохронных данных.

В системе без общего источника синхронизации между парами синхросигналов возможны отклонения следующих типов:

- дрейф (drift) отклонения формально одинаковых частот от номиналов (не бывает двух абсолютно одинаковых генераторов);
- дрожание (jitter) колебание частот относительно номинала;
- фазовый сдвиг, если сигналы не связаны системой фазовой автоподстройки ФАПЧ (PLL).

В USB по *типу синхронизации* источников или получателей данных с системой различают **асинхронный, синхронный и адаптивный классы конечных точек**, каждому из которых соответствует свой тип канала USB. Тип синхронизации задается битами [3:2] байта атрибутов (см. главу 13) в дескрипторе изохронной конечной точки:

- 00 *нет синхронизации*;
- 01 *асинхронная точка устройства*, не имеющего возможности согласования своей частоты выборок с метками *SOF* или иными частотами системы USB.

Частота передачи данных фиксированная или программируемая. Число байт данных, принимаемых за каждый микрокадр USB, не является постоянным. Синхронизация для источников и приемников различается:

- *асинхронный источник* данных *неявно объявляет свою скорость* передачи числом выборок, передаваемых им за один микрокадр. Пример- CD-плеер с синхронизацией от кварцевого генератора или приемник спутникового телевещания
- *асинхронный приемник* данных должен обеспечивать *явную обратную связь* для адаптивного драйвера клиентского ПО. Пример приемника дешевые колонки, работающие от внутреннего источника синхронизации;,

- 11 синхронная точка устройства, имеющего внутренний генератор, синхронизируемый с маркерами микрокадров SOF (1 или 8 кГц). Источники и приемники за каждый микрокадр генерируют (потребляют) одинаковое количество байт данных, которое устанавливается на этапе программирования каналов. Примером синхронного источника может быть цифровой микрофон с частотой выборки, синтезируемой по маркерам SOF.
- 10 *адаптивная точка устройства*, имеющего возможность подстройки своей внутренней частоты под требуемый поток данных (в разумных границах):
- *адаптивный источник* позволяет менять скорость под управлением приемника, обеспечивающего *явную обратную связь*. Примером адаптивного источника является CD-плеер со встроенным конвертором частоты;
- *адаптивный приемник* определяет мгновенное значение частоты по количеству данных, принятых за некоторый интервал усреднения. Таким образом осуществляется *неявное прямое объявление частоты*. Пример приемника высококачественные колонки или наушники USB.

Транзакции прерываний и передач массивов

- для конечных точек передачи массивов любое связанное с ней событие конфигурирования (установка конфигурации, интерфейса, обработка ошибки) устанавливает переключатели в положение *DATA0*. Подача нового запроса передачи (IRP) инициализации переключателей не вызывает;
- в транзакциях прерываний для обычных конечных точек используются только пакеты *DATAO*, поскольку для них в микрокадре возможна передача лишь одного пакета, а период опроса известен;
- в транзакциях прерываний для широкополосных конечных точек в микрокадре первым идет пакет данных *DATA0*, последующие пакеты в том же микрокадре идут с чередованием типов *DATA1-DATA0*.

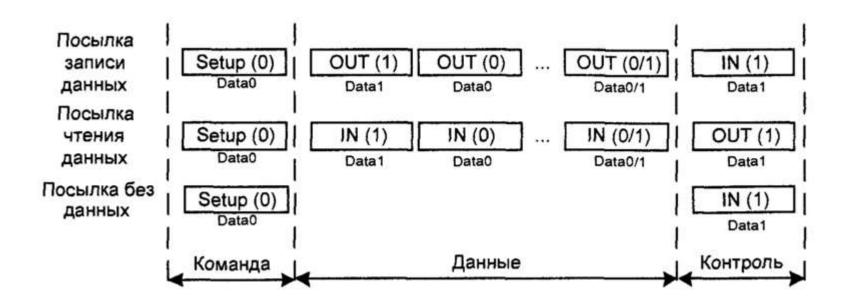
Передачи по прерываниям

- передача массива данных от хоста к конечной точке по прерыванию;
- прием хостом массива данных от конечной точки по прерыванию.

Транзакции управляющих передач

- Управляющие передачи предназначены для подачи команды (Write Control) или запроса (Read Control) устройству с индикацией результата выполнения. Передачи состоят из двух или трех стадий и выполняются с помощью нескольких транзакций:
- стадия установки, Setup Stage, предназначена для передачи управляющего сообщения от хоста к устройству. Это сообщение описывает команду (запрос), которую должно выполнить устройство. Команда может быть связана с передачей или приемом данных;
- стадия передачи данных, Data Stage, предназначена для посылки дополнительной управляющей информации (в передаче Write Control) или приема информации от устройства (в передаче Read Control). Эта стадия может отсутствовать, если не требуется ввод информации, а выводимая информация умещается в сообщении стадии установки;
- *стадия передачи состояния*, *Status Stage*, предназначена для уведомления хоста о факте и результате (успешно или нет) завершения исполнения команды.

Формат управляющих посылок

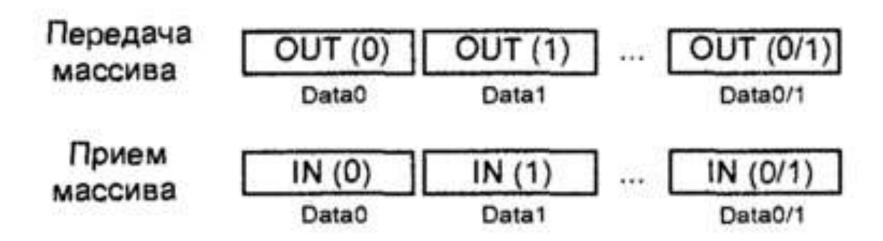


Передачи массивов данных

Существуют два типа передачи массивов:

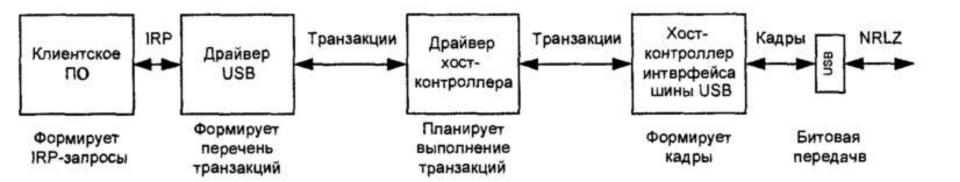
- •передача массива данных от хоста к конечной точке (Bulk Write);
- •прием хостом массива данных от конечной точки (Bulk Read).

Передача данных от хоста к конечной точке состоит из следующих друг за другом транзакций передачи данных с подтверждением, а передача данных от конечной точки к хосту — из следующих друг за другом транзакций приема с подтверждением.

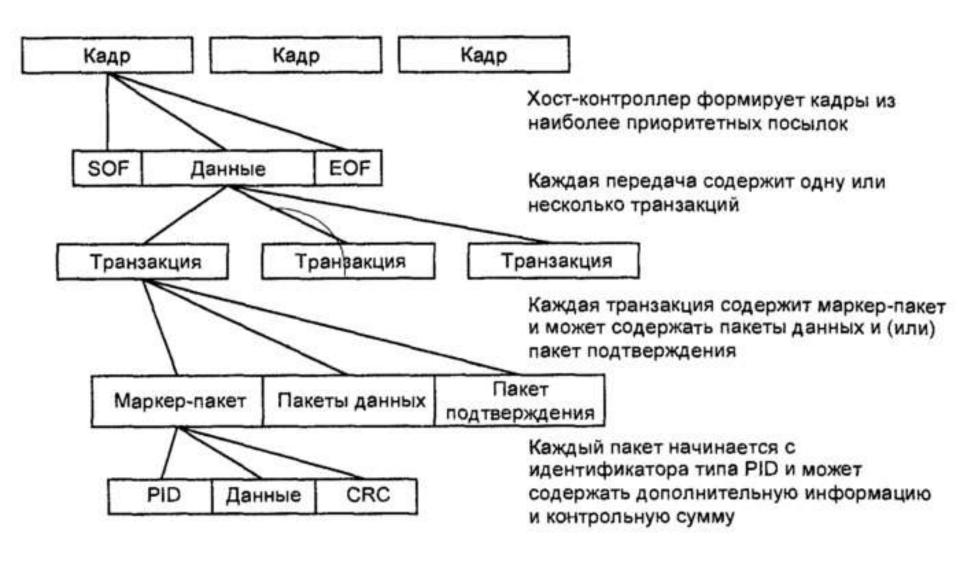


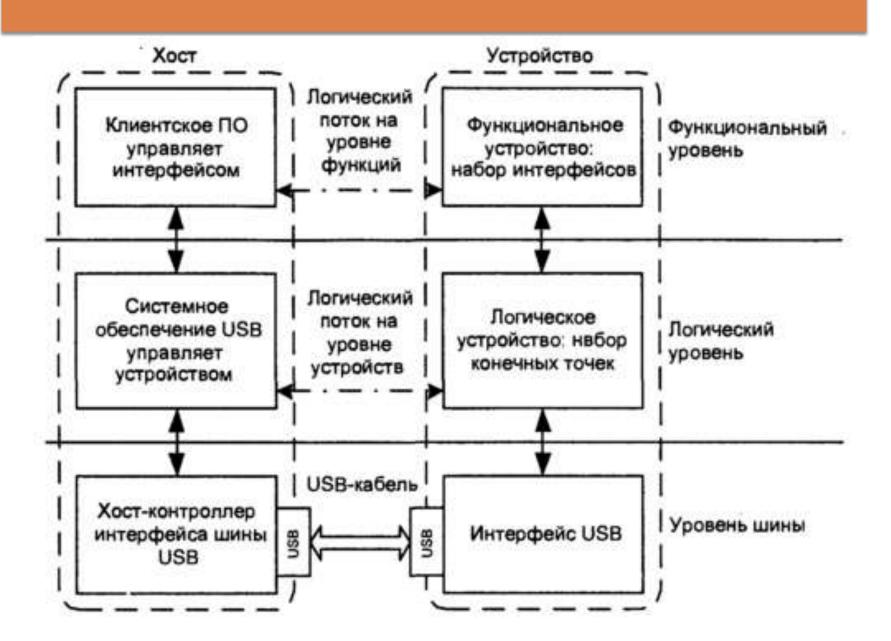
Стадия установки

• Стадия установки выполняется в виде одной транзакции, начинающейся с маркера Setup. Далее хост посылает 8\$байтный пакет данных (DATAO) с сообщением-запросом, имеющим стандартную структуру. Устройство подтверждает успешный прием этого пакета ответом АСК и приступает к отработке команды-запроса. Отсутствие ответа заставит хост повторить запрос.



Общая схема составляющих USB-протокола





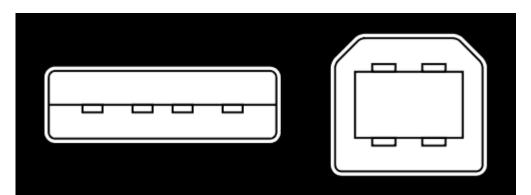
Физический интерфейс USB

Интерфейс USB является асинхронным, передача данных ведется по одной паре линий (D+ и D-).

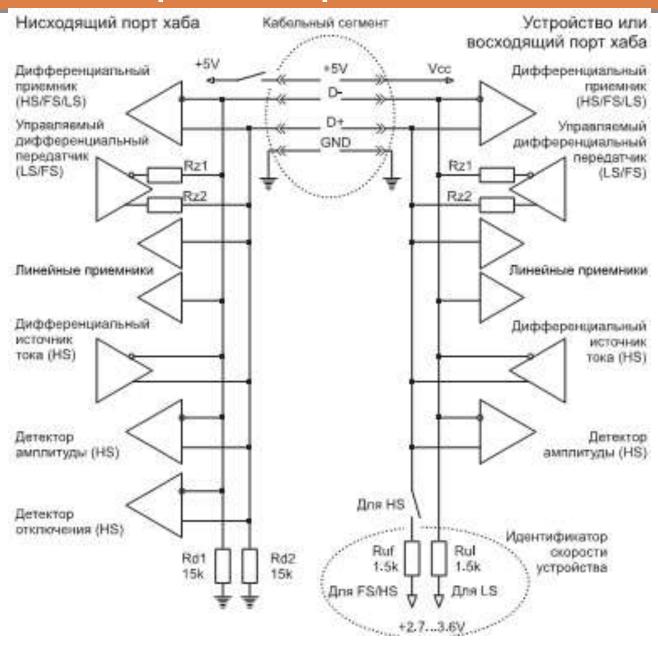
Вторая пара (GND и Vbus) предназначена для питания (+5 В, до 500 мА). Экранирование обязательно только для USB 2.0.

Разъемы имеют один из двух типов:

- «А» порт подключения устройства (или хаба) к нисходящему порту
- «В» порт подключения кабеля к устройству или восходящему порту
- Mini-A, Mini-B уменьшенные варианты разъемов
- Mini-AB гнездо порта USB OTG, допускает подключение и как хоста, и как устройства.



Приемопередатчики



Сигналы

Линии D+ и D- работают в дифференциальном режиме, но способны также выдавать «нулевой» сигнал.

Состояния линии USB:

- Diff1: D+ > 2 V, (D+)-(D-)>200 mV
- Diff0: D- > 2 V, (D-)-(D+)>200 mV
- SE0 (single-ended zero): D+ < 0.8 V, D- < 0.8 V
- Кодирование информации NRZI, состояние линии меняется на противоположное при появлении лог. «0» (при «1» не меняется). Чтобы исключить потерю синхронизации, применяется bit stuffing (после 6 единиц подряд добавляется «0» для гарантированной смены состояния).
- Начало пакета (Sync) 8 нулей подряд. Конец пакета (EOF) для режимов LS/FS обозначается как SE0 в течение двух битовых интервалов. Для режима HS это последовательность «01111111» (без бит-стаффинга).

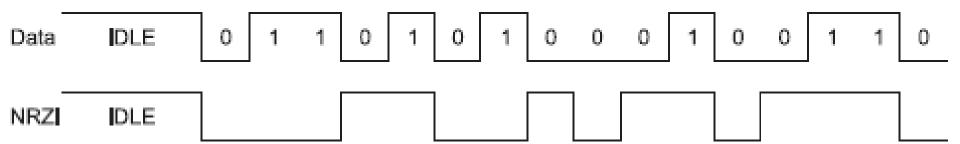
Состояние Bus Idle:

- длительное Diff1 для FS
- длительное Diff0 для LS
- SE0 для HS

Логическая единица обозначается как J (Diff1), логический ноль – как K (Diff0). Для режима LS применяется инвертированная логика: J=Diff0, K=Diff1.

Кодирование NRZI

при передачи нулевого бита в начале битового интервала состояние сигнала (*J* или *K*) меняется на противоположное; при передаче единичного — не меняется.



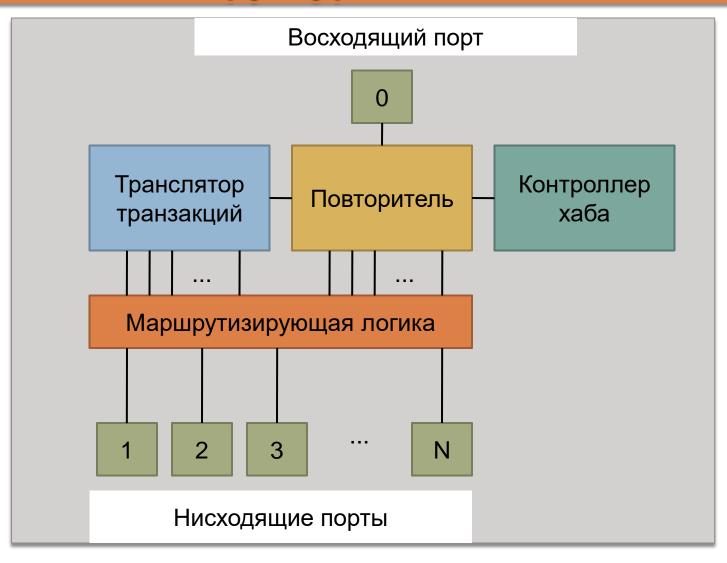
Хабы USB

В рамках шины USB концентратор (хаб) выполняет множество функций по поддержанию связи между хостом и устройствами:

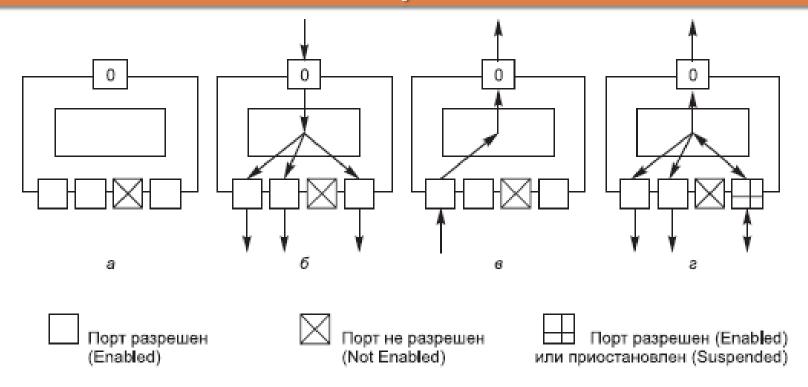
- физическое подключение устройств к хосту;
- трансляцию трафика от хоста к устройству и наоборот;
- объединение сегментов шины, в том числе работающих на разных скоростях;
- отслеживание состояний устройств, сообщение хосту об их подключении и отключении;
- контроль за работой устройств, изоляция неисправных;
- питание устройств, их приостановка и возобновление работы.

Хаб является частью хоста, отдельным внешним устройством либо частью внешнего устройства.

Структура хаба USB



Повторитель



a — покой; δ — трансляция пакета с восходящего порта; ϵ — трансляция с нисходящего порта; ϵ — трансляция восходящего возобновления от разрешенного порта

Повторитель хаба обеспечивает динамические соединения между портами для трансляции пакетов и сигналов возобновления. В состоянии покоя повторителя все порты работают на прием и ожидают признака начала кадра или сигнала возобновления. По этим событиям устанавливается то или иное соединение портов

Транслятор транзакций

Транслятор транзакций, входящий в хаб USB 2.0, служит для преобразования скоростей обмена по шине: высокой (HS) на стороне восходящего порта в полную или низкую (FS/LS) на стороне нисходящих портов, к которым подключены устройства USB 1.х. Транслятор выполняет расщепленные транзакции ввода/вывода и транслирует маркеры микрокадров в маркеры кадров, передаваемые в порты FS.

Расщепление транзакций организуется хостом, который знает текущую топологию шины (к портам каких хабов USB 2.0 подключены устройства или хабы 1.х). Расщепленные транзакции выполняются в два\$три этапа, в зависимости от типа и направления передачи:

Основные области применения USB

- Устройства ввода клавиатуры, мыши, трекболы, планшетные указатели и т. п. Здесь USB предоставляет для различных устройств единый интерфейс. Целесообразность использования USB для клавиатуры неочевидна, хотя в паре с мышью USB (подключаемой к порту хаба, встроенного в клавиатуру) сокращается количество кабелей, тянущихся от системного блока на стол пользователя.
- Принтеры. USB 1.1 обеспечивает примерно ту же скорость, что и LPT-порт в режиме ECP, но при использовании USB не возникает проблем с длиной кабеля и подключением нескольких принтеров к одному компьютеру (правда, требуются хабы). USB 2.0 позволит ускорить печать в режиме высокого разрешения за счет сокращения времени на передачу больших массивов данных. Однако есть проблема со старым ПО, которое непосредственно работает с LPT- портом на уровне регистров, на принтер USB оно печатать не сможет.

- **Сканеры.** Применение USB позволяет отказаться от контроллеров SCSI или от занятия LPT-порта. USB 2.0 при этом позволит еще и повысить скорость передачи данных.
- Аудиоустройства колонки, микрофоны, головные телефоны (наушники). USB позволяет передавать потоки аудиоданных, достаточные для обеспечения самого высокого качества. Передача в цифровом виде от самого источника сигнала (микрофона со встроенным преобразователем и адаптером) до приемника и цифровая обработка в хост-компьютере позволяют избавиться от наводок, свойственных аналоговой передачи аудиосигналов. Использование этих аудио-компонентов позволяет в ряде случаев избавиться от звуковой карты компьютера — аудиокодек (АЦП и ЦАП) выводится за пределы компьютера, а все функции обработки сигналов (микшер, эквалайзер) реализуются центральным процессором чисто программно. Аудиоустройства могут и не иметь собственно колонок и микрофона, а ограничиться преобразователями и стандартными гнездами («Джеками») для подключения обычных аналоговых устройств.

- Музыкальные синтезаторы и MIDI-контроллеры с интерфейсом USB. Шина USB позволяет компьютеру обрабатывать потоки множества каналов MIDI (пропускная способность традиционного интерфейса MIDI уже гораздо ниже возможностей компьютера).
- Видео- и фотокамеры. USB 1.1 позволяет передавать статические изображения любого разрешения за приемлемое время, а также передавать поток видеоданных (живое видео) с достаточной частотой кадров (25-30 Кбит/с) только с невысоким разрешением или сжатием данных, от которого, естественно, страдает качество изображения. USB 2.0 позволяет передавать поток видеоданных высокого разрешения без сжатия (и потери качества). С интерфейсом USB выпускают как камеры, так и устройства захвата изображения с телевизионного сигнала и TV-тюнеры.
- Коммуникации. С интерфейсом USB выпускают разнообразные модемы, включая кабельные и xDSL, адаптеры высокоскоростной инфракрасной связи (IrDA FIR) шина позволяет преодолеть предел скорости СОМ-порта (115,2 Кбит/с), не повышая загрузку центрального процессора. Выпускаются и сетевые адаптеры Ethernet, подключаемые к компьютеру по USB. Для соединения нескольких компьютеров в локальную сеть выпускаются специальные устройства, выполняющие коммутацию пакетов между компьютерами.

Преобразователи интерфейсов позволяют через порт USB, имеющийся теперь практически на всех компьютерах, подключать устройства с самыми разнообразными интерфейсами: Centronics и IEEE 1284 (LPT-порты), RS-232C (эмуляция UART 16550A — основы СОМ-портов) и другие последовательные интерфейсы (RS-422, RS-485, V.35...), эмуляторы портов клавиатуры и даже Game-порта, переходники на шину АТ A, ISA, PC Card и любые другие, для которых достаточно производительности. Здесь USB становится палочкойвыручалочкой, когда встает проблема 2-го (3-го) LPT- или СОМ-порта в блокнотном ПК и в других ситуациях. При этом ПО преобразователя может обеспечить эмуляцию классического варианта «железа» стандартных портов ІВМ РС, но только под управлением ОС защищенного режима. Приложение MS-DOS может обращаться к устройствам по адресам ввода-вывода, памяти, прерываниями, каналами DMA, но только из сеанса MS-DOS, открытого в OC с поддержкой USB (чаще это Windows). При загрузке «голой» MS-DOS «палочка-выручалочка» не работает. Преобразователи интерфейсов позволяют продлить жизнь устройствам с традиционными интерфейсами, изживаемыми из РС спецификациями РС'99 и РС'2001. Скорость передачи данных через конвертер USB — LPT может оказаться даже выше, чем у реального LPT-порта, работающего в режиме SPP.

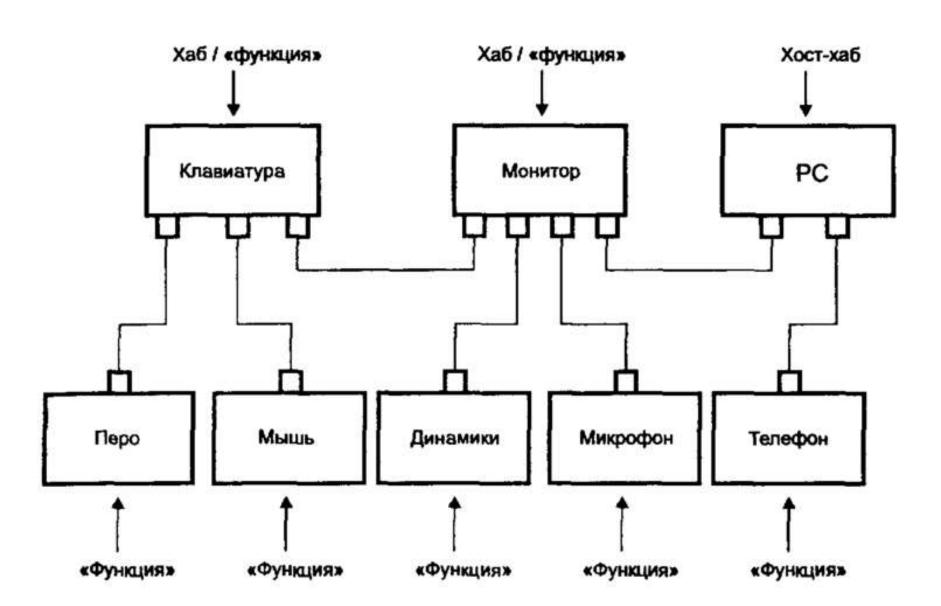
Устройства хранения — винчестеры, устройства чтения и записи CD и DVD, стриммеры — при использовании USB 1.1 получают скорость передачи, соизмеримую со скоростью их подключения к LPT, но более удобный интерфейс (как аппаратный, так и программный). При переходе на USB 2.0 скорость передачи данных становится соизмеримой с ATA и SCSI, а ограничений по количеству устройств достичь трудно. Особенно интересно использование USB для электронных устройств энергонезависимого хранения (на флэш-памяти) — такой накопитель может быть весьма компактным (размером с брелок для ключей) и емким (пока 16-256 Мбайт, в перспективах — гигабайт и более). Выпускаются устройства для мобильного подключения накопителей с интерфейсом АТА-АТАРІ — по сути, это лишь преобразователи интерфейсов, помещенные в коробку-отсек формата 5" или 3,5", а иногда выполненные прямо в корпусе 36контактного разъема АТА. Имеются и устройства чтения-записи карт SmartMedia Card и CompactFlash Card.

- Игровые устройства джойстики всех видов (от «палочек» до автомобильных рулей), пульты с разнообразными датчиками (непрерывными и дискретными) и исполнительными механизмами (почему бы не сделать кресло автогонщика с вибраторами и качалками?) подключаются унифицированным способом. При этом исключается ресурсопожирающий интерфейс старого игрового адаптера (упраздненного уже в спецификации РС'99).
- Телефоны аналоговые и цифровые (ISDN). Подключение телефонного аппарата позволяет превратить компьютер в секретаря с функциями автодозвона, автоответчика, охраны и т. п.

- Мониторы здесь шина USB используется для управления параметрами монитора. Монитор сообщает системе свой тип и возможности (параметры синхронизации) — это делалось и без USB по шине DDC. Однако USB-мониторы позволяют системе еще и управлять ими — регулировки яркости, контраста, цветовой температуры и т. п. могут теперь выполняться программно, а не только от кнопок лицевой панели монитора. В мониторы, как правило, встраивают хабы. Это удобно, поскольку настольную периферию не всегда удобно включать в «подстольный» системный блок.
- Электронные ключи устройства с любым уровнем интеллектуальности защиты могут быть выполнены в корпусе вилок USB. Они гораздо компактнее и мобильнее аналогичных устройств для СОМ- и LPT-портов

Устройства человекомашинного интерфейса (HIDустройства) К классу HID (Human Interface Device) относятся устройства, обеспечивающие интерфейс между человеком и компьютером: клавиатура, мышь, шар, другие устройства\$указатели, джойстик; органы управления на лицевой панели компьютера — кнопки, переключатели, регуляторы и т. п.; органы управления, присущие пультам дистанционного управления аудио- и видеотехникой, телефонам, различным игровым симуляторам (рули, педали, штурвалы и т. п.).

Пример подключения устройств USB



Перспективы шины USB. Wireless USB

В настоящее время интерфейс развивается в трех направлениях.

Во-первых, это Wireless USB - то есть способность передавать USBпротокол через беспроводное подключение. В основе лежит разработка группы WiMedia Alliance - WiMedia MB OFDM ultra-wideband (multiband orthogonal frequency devision multiplexing UWB). Собственно, UWB не является обособленной технологией, а работает поверх существующих стеков, таких как Bluetooth. Групппа WMA решает также проблему сосуществования в персональной беспроводной сети (WPAN, Wireless Private Area Network) нескольких протоколов, конкурирующих за частоту: WUSB, Wireless FireWire (звучит парадоксально), оригинальных WiFi-устройств и Bluetooth. Группа разработчиков работает таким образом, чтобы исключить региональные или фирменные стандарты, идущие вразрез с общими спецификациями,так что мы будем лишены "радостей" несовместимости и гонки стандартов, которые наблюдаются в других областях. На данный момент в группе поддержки Wireless USB такие компании, как Intel, Samsung, HP, Nokia и ряд других - даже части этих имен было бы достаточно для того, чтобы не переживать за будущее этой технологии. Кстати, WiMedia посвящен специальный сайт, где вы можете получить дополнительную информацию.

WUSB

Wireless USB относится к технологиям класса PAN (Personal Area Network). В первую очередь она предназначена для обмена данными на небольших расстояниях. Спецификация декларирует пропускную способность 480 Мбит/с на расстоянии до 3 м, 110 Мбит/с на расстоянии до 10 м. Существующие в данный момент прототипы уже обеспечивают такие скорости. В частности, на недавней конференции разработчиков Wireless USB демонстрировался обмен данными на скорости 480 Мбит/с между двумя ПК с использованием прототипов компаний Intel и Alereon.

Пример сети этого класса - Bluetooth, правда, пропускные способности, достигаемые в рамках этой технологии, на два порядка ниже. Также немаловажным является тот факт, что Wireless USB использует в сто раз меньше энергии для передачи равного количества информации на той же битовой скорости.

В качестве потенциальных рынков для Wireless USB рассматриваются не только традиционная "вотчина" проводного USB - рынок периферии ПК, - но и рынки мобильной техники, а также бытовой электроники. Нередко эта технология называется в качестве наиболее вероятного кандидата на роль основного транспорта для "цифрового дома". Для достижения наилучших результатов в этой области введена расширенная поддержка изохронного трафика (одно из основных новшеств по отношению к проводному USB), что позволит обеспечивать качественную передачу потокового аудио и видео.

Физический уровень

В отличие от проводного USB, Wireless USB-спецификация не определяет собственный физический уровень. Технология базируется на сверхширокополосной (ultrawideband - UWB) платформе, продвигаемой организацией WiMedia/Multi-Band OFDM Alliance (MBOA). Таким образом передается характерная черта UWB - высокая пропускная способность при низком энергопотреблении.

 Альянс WiMedia/MBOA разрабатывает спецификации общей стандартной UWBрадиоплатформы (MAC-и PHY-уровни), а также занимается вопросами частотного регулирования по всему миру. По своей сути, Wireless USB является приложением WiMedia/MBOA.

Среди других возможных приложений WiMedia/MBOA наиболее часто называют технологии Universal Plug-and-Play и Wireless 1394. Недавно о желании присоединиться к альянсу объявил также Bluetooth SIG (Special Interest Group). WiMedia/MBOA PHY - спецификация была определена в первом квартале 2005 года, работы над спецификацией МАС-уровня должны быть завершены во втором квартале этого года. Сегодня UWB-связь легализована для использования только в США (разрешен к использованию диапазон 3.1-10.6 ГГц). Ведутся работы в Европе и Азии, принятие решения ожидается к середине следующего года.

• Основные пользовательские характеристики Wireless USB

Пропускная способность:

480 Мбит/с на расстоянии 3 м, 110 Мбит/с на расстоянии 10 м;

масштабируемая архитектура и протокол (до 1 Гбит/с и выше).

Расширенные функции по управлению питанием:

режимы Sleep/Listen/Wake;

низкое удельное потребление при работе; управление мощностью тран-сивера.

Безопасность:

безопасное подключение и аутентификация устройств; малое количество служебной информации, минимизация влияния на производительность; защита на уровне приложения.

Простота использования(аналогично проводной шине USB):

несложная инсталляция и настройка; обратная совместимость с проводной шиной USB; низкие затраты на реализацию.

Другое направление - развитие скорости проводного подключения путем внедрения Hi-Speed USB. Собственно, ныне существующий USB 2 и есть Hi-Speed USB. Цель этого направления - сделать USB единственным, самым удобным и скоростным протоколом в будущих РС и полностью заменить им остальные, такие как SCSI или IDE. Это не значит, что все устройства нуждаются в переходе на новую скорость - для таких "тихоходных" устройств, как клавиатура или мышь, протокол 1.1 остается вполне достаточным. USB 2 не вытеснит, а будет сосуществовать с 1.1 долгое время. С другой стороны, еще предстоит проделать определенную работу, чтобы по USB можно было надежно передавать видеопотоки. Для Hi-Speed, так же как и для Wireless, установлена скорость обмена 480 мегабит в секунду - однако эту скорость будут разделять все устройства, подключенные к шине.

On-The-Go

Наконец, **третья идея** развития USB называется On-The-Go. Принцип в том, чтобы два периферийных устройства, например цифровая камера и принтер, связывались посредством USB без участия компьютера. Помимо интеллектуальности самих устройств, On-The-Go включает и требования по низкому энергопотреблению. Подразумевается также использование нового компактного USB-разъема, поскольку On-The-Go рассчитан, в основном, на PDA, цифровые камеры и прочие портативные устройства.

Возможны также любые совмещения указанных технологий. Кроме очевидной комбинации Wireless+Hi-Speed (и так предусмотренной по умолчанию), возможен скоростной вариант On-The-Go, а также Wireless On-The-Go.

USB не просто жив и процветает, но и стремиться стать еще лучше и еще доступнее. Хотя некоторые конкурирующие технологии, в частности Bluetooth и FireWire, своих позиций не утратили и долго еще будут использоваться вместе с USB.

В ряде случаев хотелось бы обойтись и без компьютера. Так, например, непосредственное соединение цифровой фотокамеры и фотопринтера, обеспечивающее печать снимков без участия ПК. Практически все ПУ USB имеют встроенные микроконтроллеры. Периферийное устройство, имеющее хотя бы простейшие средства диалога с пользователем (дисплей, отображающий пару строк текста, и несколько кнопок управления), вполне может взять на себя управляющие функции в плане организации транзакций USB. Функции такого мини-хоста можно упростить, если ориентироваться на двухточечное соединение пары устройств без промежуточных хабов. В этом случае мини-хосту остается лишь идентифицировать одно подключенное устройство, и, если ему известно, как это устройство можно использовать, сконфигурировать его. Задача планирования транзакций лишь с одним устройством гораздо проще общей задачи «большого» хоста и хост-контроллера. Именно на создание таких упрощенных связей пары устройств нацелено расширение *OTG* (On-The-Go)

OnTheGo Supplement to USB 2.0 Specification

Документ OnTheGo Supplement to USB 2.0 Specification (версия 1.0 вышла в июне 2003 года) определяет дополнения к USB 2.0, необходимые для организации упрощенных соединений пары устройств. Большая часть документа посвящена описанию разъемов, и терминология OTG тоже привязана к типам разъемов (собственно, пользователь видит разъемы на устройствах и просто пытается соединить их доступными кабелями).

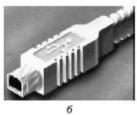
Устройства в OTG

- Устройство-A (A-Device) устройство, в гнездо которого вставлена вилка типа A (или mini-A). Оно подает питание (Vbus) на шину и играет роль хоста, по крайней мере, в первое время после подключения к другому устройству. По ходу сеанса связи устройство-A может передать функции хоста своему партнеру, а само стать периферийным (в терминах USB);
- устройство-В (B-Device) устройство, в гнездо которого вставлена вилка типа В (или mini-В). Оно при подключении к другому устройству играет роль периферийного (ведомого) устройства USB. Если это устройство является двухролевым, то по ходу сеанса связи ему могут быть переданы функции хоста;
- двухролевое устройство (Dual-role device) с единственным гнездом типа mini-AB, обеспечивающее питание шины с током не менее 8 мА, поддерживающее FS (дополнительно может поддерживать и HS, а в роли периферийного устройства и LS). Это устройство имеет усеченные возможности хоста, список поддерживаемых периферийных устройств, средства диалога с пользователем. Для управления связью устройство должно поддерживать протоколы запроса сессий (SRP) и

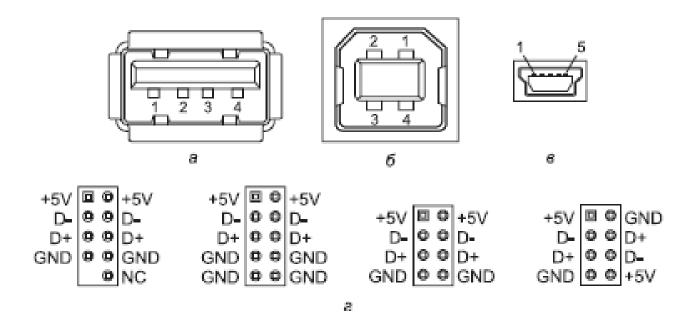
согласования роли хоста (HNP).

Физический интерфейс USB



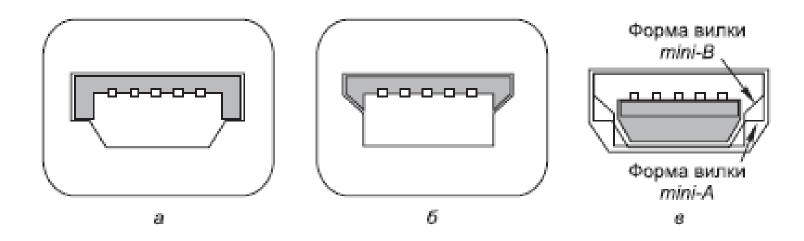


Гнезда типа «А» устанавливаются только на нисходящих портах хабов, вилки типа «А» — на шнурах периферийных устройств или восходящих портов хабов. Гнезда и вилки типа «В» используются только для шнуров, отсоединяемых от периферийных устройств и восходящих портов хабов (от «мелких» устройств — мышей, клавиатур и т. п. кабели, как правило, не отсоединяются). Для малогабаритных устройств имеются разъемы mini-B, а для поддержки ОТС имеются и вилки mini\$A, и розетки mini-AB. Хабы и устройства обеспечивают возможность «горячего» подключения и отключения с сигнализацией об этих событиях хосту.



Разъемы USB: *а* — гнездо «А»; *б* — гнездо «В»; *в* — гнездо «miniB»; *г* — варианты разъема на системной плате

Разъемы OTG



- *a* вилка *mini-A*;
- *б* вилка *mini-В*;
- в розетка *mini-AB*

Двухролевое устройство может поддерживать и хабы (это усложняет его задачи); однако стандартные хабы USB не позволяют работать протоколам SRP и HNP.