

Раздел 4. Лекция 2.

Последовательные интерфейсы RS-232, USB, IEEE 1394, IrDA, Bluetooth, WiFi, Thunderbolt. Часть 1

Основные вопросы лекции

1. Универсальный последовательный интерфейс RS-232-C. Протокол, формат асинхронной передачи, физический интерфейс, разъемы. Программная модель, порт COM.
2. Универсальный последовательный интерфейс USB. Архитектура, топология, характеристики. Уровни протокола, форматы пакетов, режимы обмена. Беспроводной USB. Спецификация USB Type-C.

1. Последовательный интерфейс

Основными режимами передачи информации по последовательному интерфейсу являются **асинхронная и синхронная передача данных**, которым соответствует **асинхронные и синхронные протоколы**. Данные передаются последовательно бит за битом, биты образуют байты (определенные символы), а байты образуют блоки передаваемых данных.

Тип протокола (асинхронный, синхронный) определяется по принципу синхронизации байта (символа) и блока.

Асинхронный протокол:

- асинхронная передача байт (символов);
- синхронный бит в байте.

Синхронный протокол:

- синхронная передача байт;
- асинхронный – блоков.

Асинхронные протоколы представляют собой наиболее старый способ связи типа «точка-точка». Эти протоколы оперируют не с блоками, а с отдельными символами, которые представлены байтами и старт-стопными битами. Такой режим работы называют **асинхронным** или **старт-стопным**.

1. Асинхронная передача

В 1969 г. появился стандарт асинхронной передачи **RS-232-C** (последовательный порт). Позднее проявились другие стандарты асинхронной передачи. Последняя версия стандарта RS-232-E появилась в июне 1991 г.

- В соответствии со стандартом данные должны быть представлены в виде отдельных знаков (длиной 7 или 8 бит). Каждый знак обрамляется стартовыми (начало байта) и стоповым (конец байта) битами.
- Назначение этих сигналов состоит в том, чтобы известить приемник о начале и конце передачи байта, а также для того, чтобы дать приемнику достаточно времени для выполнения некоторых функций, связанных с синхронизацией, до поступления следующего байта. Сигнал «старт» имеет длительность в один такт, сигнал «стоп» может длиться один, полтора или два такта.
- Знаки передаются и принимаются в произвольные моменты времени. Два знака должны быть разделены минимальным временным интервалом. Принимающая сторона начинает вырабатывать тактовые сигналы, как только обнаруживает начало знака.

Асинхронная передача не требует дорогостоящего оборудования и поэтому широко применяется для соединения компьютеров с периферийным оборудованием (НМЛ, НМД, принтеры, клавиатура, терминалы).

На физическом уровне в последовательном интерфейсе единицей информации является бит, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком.

1. Формат асинхронной передачи



- Принят ряд *стандартных скоростей* обмена: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 и 115200 бит/с.
- Количество *бит данных* может составлять 5, 6, 7 или 8 (5- и 6-битные форматы распространены незначительно).
- Количество *стоп-бит* может быть 1, 1,5 или 2 («полтора бита» означает только длительность стопового интервала).

1. Синхронизация на уровне бит

Синхронизация на уровне бит осуществляется аппаратным способом путем стробирования каждого бита данных синхроимпульсом.

Синхроимпульс генерируется:

- либо специальным генератором;
- либо используется самосинхронизация.

В первом случае передача «1» и «0» может сопровождаться переключением сигнала только для одной из цифр («1» или «0»), а для другой отсутствовать.

В случае самосинхронизации передача «1» и «0» должна сопровождаться переключением сигнала для обеих цифр и «1» и «0», что дает возможность формировать синхроимпульс непосредственно из сигналов информации.

1. RS-232

RS-232 - является **дуплексным** интерфейсом с последовательной передачей данных в асинхронном и синхронном режимах со скоростью до 115 Кбит/сек и топологией «точка-точка».

Интерфейс RS-232 чаще всего использовался для подключения:

- различного типа манипуляторов;
- для связи двух компьютеров;
- подключения принтеров и плоттеров;
- электронных ключей (Security Devices), предназначенных для защиты от нелегального использования программного обеспечения.

Этот интерфейс позволяет эмулировать специальные терминалы (UT-52, UT-100 и т.д.). Он используется для беспроводных коммуникаций с применением излучателей и приемников инфракрасного диапазона - IR Connection.

1. COM-порт компьютера x86

Порт COM – точка подключения к компьютеру коммуникационного устройства (модема) или периферийного устройства. Понятие порта относится к архитектуре ПК и операционной системе.

Реализуется порт COM посредством приемопередатчиков UART с регистрами, отображенными на пространство портов в-в, и интерфейса RS-232с, усеченного до одного асинхронного варианта.

Применение иных вариантов асинхронного коммуникационного интерфейса (RS-422A, RS-425A, RS-485) также возможно при наличии преобразователей.

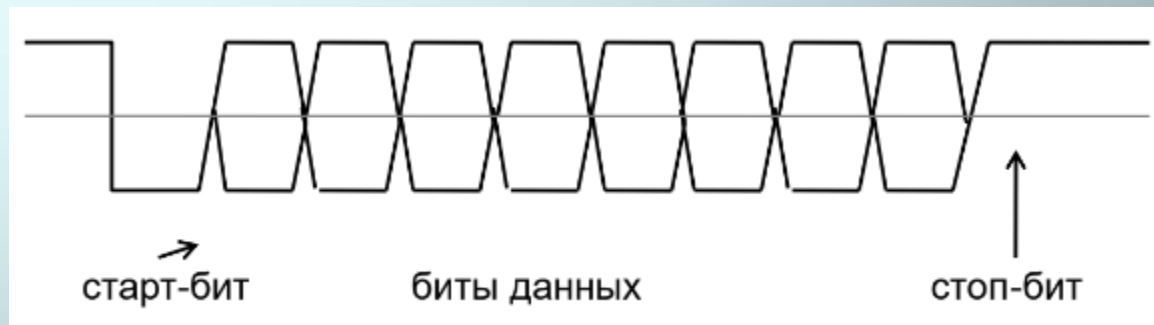
Топология RS-232с – «точка-точка», в других вариантах интерфейса возможен вариант топологии (например, «шина»).

1. Асинхронный режим обмена

Интерфейс RS-232-с в асинхронном режиме использует только две линии для обмена данными. Формат посылки – один символ (часто – байт), который обрамляется старт-битом («0») и стоп-битом («1»). Обрыв линии регистрируется как старт-бит без стоп-бита, что приводит к ошибке. Между стоп-битом и старт-битом следующей посылки возможна произвольная пауза.

Частота обеих сторон должна быть заранее согласована, поскольку по старт-биту приемник должен запустить генератор стробирования. Допустимые частоты стробирования – от 50 до 115200 Гц.

Формат посылки:



Количество бит данных – от 5 до 8, количество стоп-бит – 1, 1.5 или 2

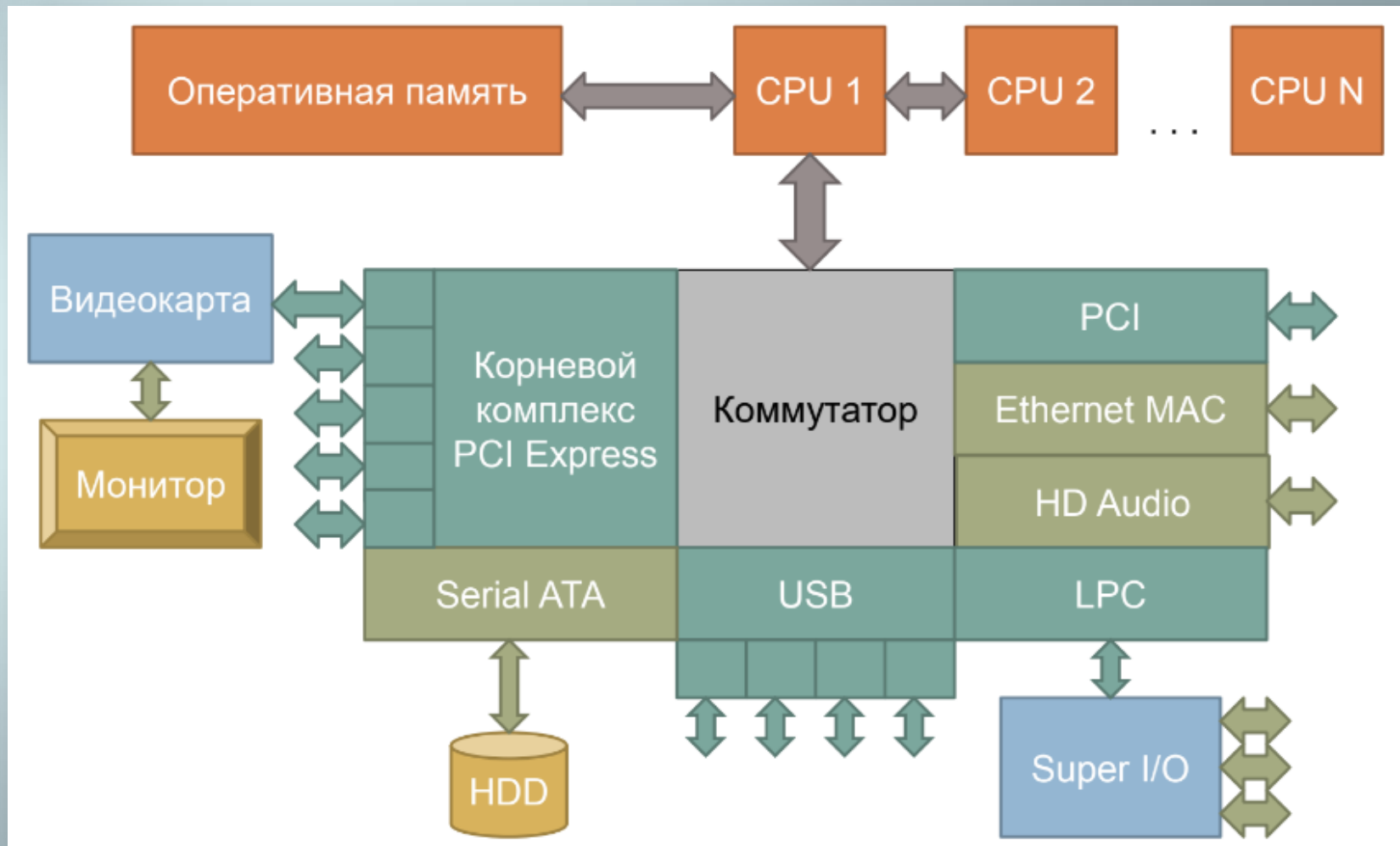
1. Использование COM-портов

COM-порт широко применялся для подключения различных периферийных и коммуникационных устройств, связи с различным технологическим оборудованием, объектами управления и наблюдения, программаторами, внутрисхемными эмуляторами и прочими устройствами, используя протокол RS-232-с:

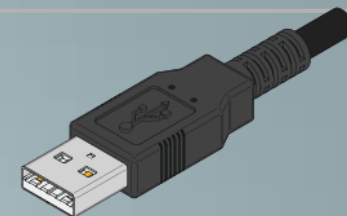
- манипуляторов (мышь, трекбол);
- внешних модемов;
- двух компьютеров;
- электронных ключей.

Современные ПУ, подключаемые к COM-порту, могут поддерживать спецификацию PnP. Основная задача ОС заключается в идентификации подключенного устройства, для чего разработан несложный протокол, реализуемый на любых COM-портах чисто программным способом.

2. Шина USB в архитектуре современного ПК



2. 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 2008 г. Версия 3.1 – в 2013 г. Версия 3.2 – в 2017 г. Версия 4 – 2019 г.

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

Шина обеспечивает следующие скорости обмена данными:

Спецификация	Скорость	Стандарт USB
Low-Speed	до 1,5 Мбит/с	USB 1.0
Full-Speed	до 12 Мбит/с	USB 1.1
High-speed	до 480 Мбит/с	USB 2.0
SuperSpeed	до 5 Гбит/с	USB 3.0 / USB 3.1 Gen 1 / USB 3.2 Gen 1
SuperSpeed+ 10Gbps	до 10 Гбит/с	USB 3.1 Gen 2 / USB 3.2 Gen 2
SuperSpeed++ 20Gbps	до 20 Гбит/с	USB 3.2 Gen 2x2
SuperSpeed++++ 40Gbps	до 40 Гбит/с	USB 4.0 Gen 3x2

2. Общая характеристика

Последовательная передача данных, так как нет отдельных линий для данных, адреса и управления — все протокольные функции приходится выполнять, пользуясь одной парой 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, будут поступать к приемнику с той же скоростью.

2. Архитектура USB

В основе архитектуры USB лежит **принцип централизованного управления** всей сетью подключенных устройств со стороны одного контроллера, за которым стоит хост-система.

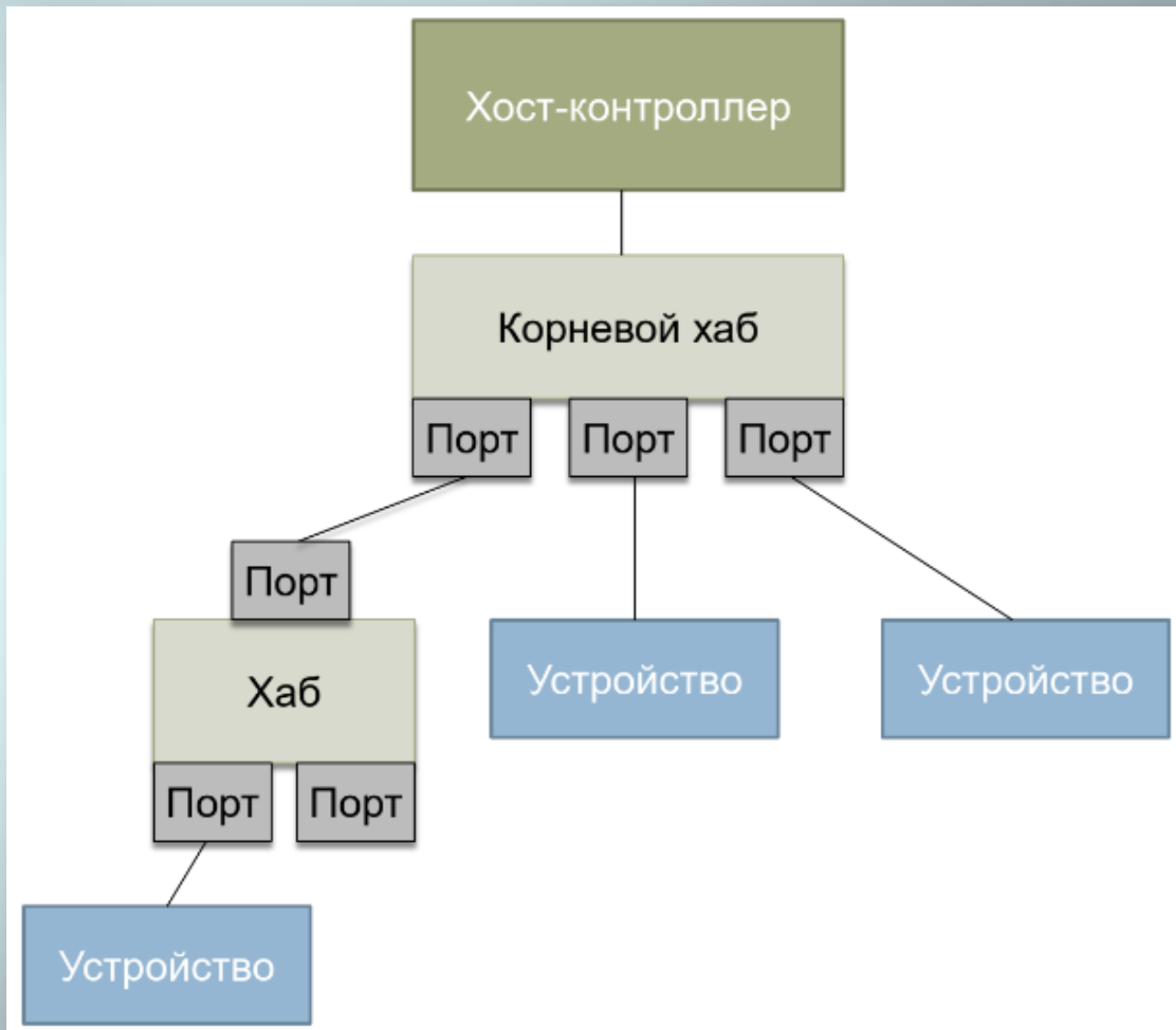
Хост-контроллер, с одной стороны, обслуживает набор устройств, с другой – обслуживает набор прикладных программных процессов.

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.

2. Топология USB



2. 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*, 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.

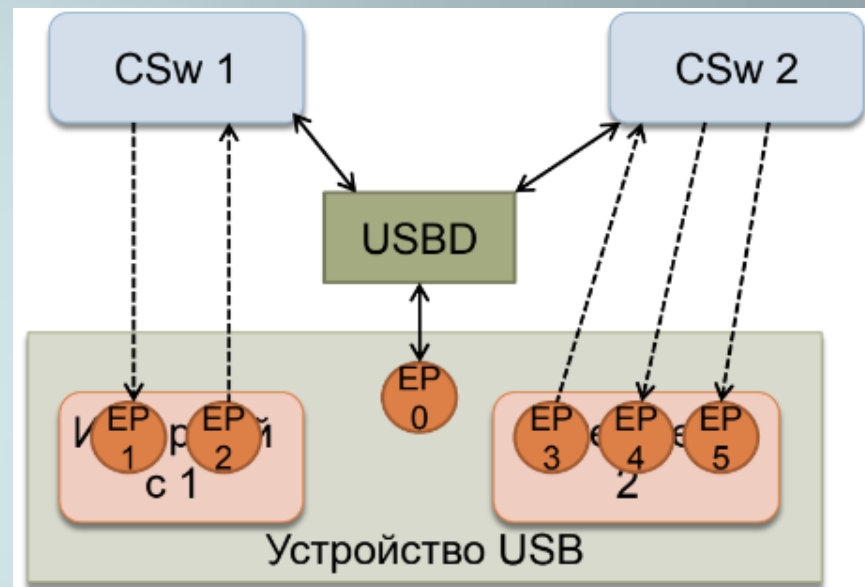
*ISDN (*Integrated Services Digital Network* - цифровая сеть с интегрированными услугами) – цифровая сеть с интеграцией услуг. Обеспечивает полностью цифровые соединения между оконечными устройствами для поддержки широкого спектра речевых и информационных услуг.

2. 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 USBД и формирует на их основе очереди запросов, обращается к регистрам хост-контроллера, контролирует все процессы обмена.

2 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 USB-устройствами 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.

2 Архитектура USB (программная часть)

Каждое устройство получает от хоста 7-битный адрес, начиная с 1; всего теоретически допустимо подключение **до 127** устройств.

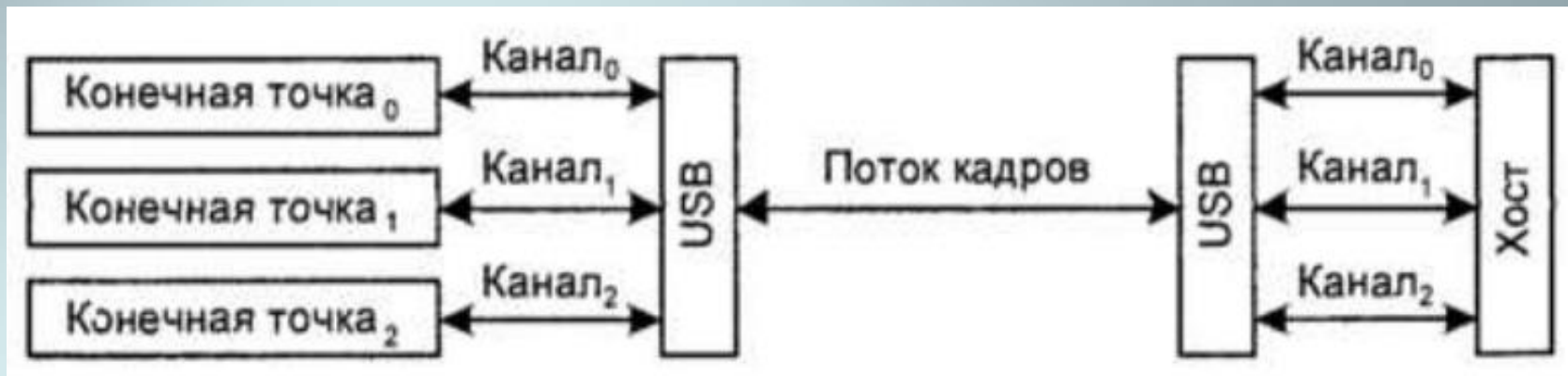
Каждая EP устройства имеет 4-битный номер и направление передачи – IN или OUT, характеризуется поддерживаемыми типами транзакций, размерами пакетов, частотами обслуживания. Точка EP0 присутствует всегда, она служит для общего управления устройством.

Набор EP 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.

2. 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.

2. 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,
 - 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.

2. 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.x — UHC (Universal Host Controller);
 - ОHC (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.

2. API хост-контроллера

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

Задача хост-контроллера: планирование и обработка списков дескрипторов транзакций, формируемых драйвером HCD. Приоритет отдается периодическим транзакциям (изохронные и прерывания).

2. Запросы, пакеты, транзакции

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

Основной канал сообщений (Default pipe) принадлежит USBD, а не CSw.

2. 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).

2. Протокол шины USB

Все обмены (транзакции) с устройствами USB состоят из двух-трех 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.

2. 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).



2. Структура пакетов

Поле

Длина,
бит

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

маркер;

Sync	PID	Check	Data	CRC	EOP
8	4	4	$8 \times n$	16	2

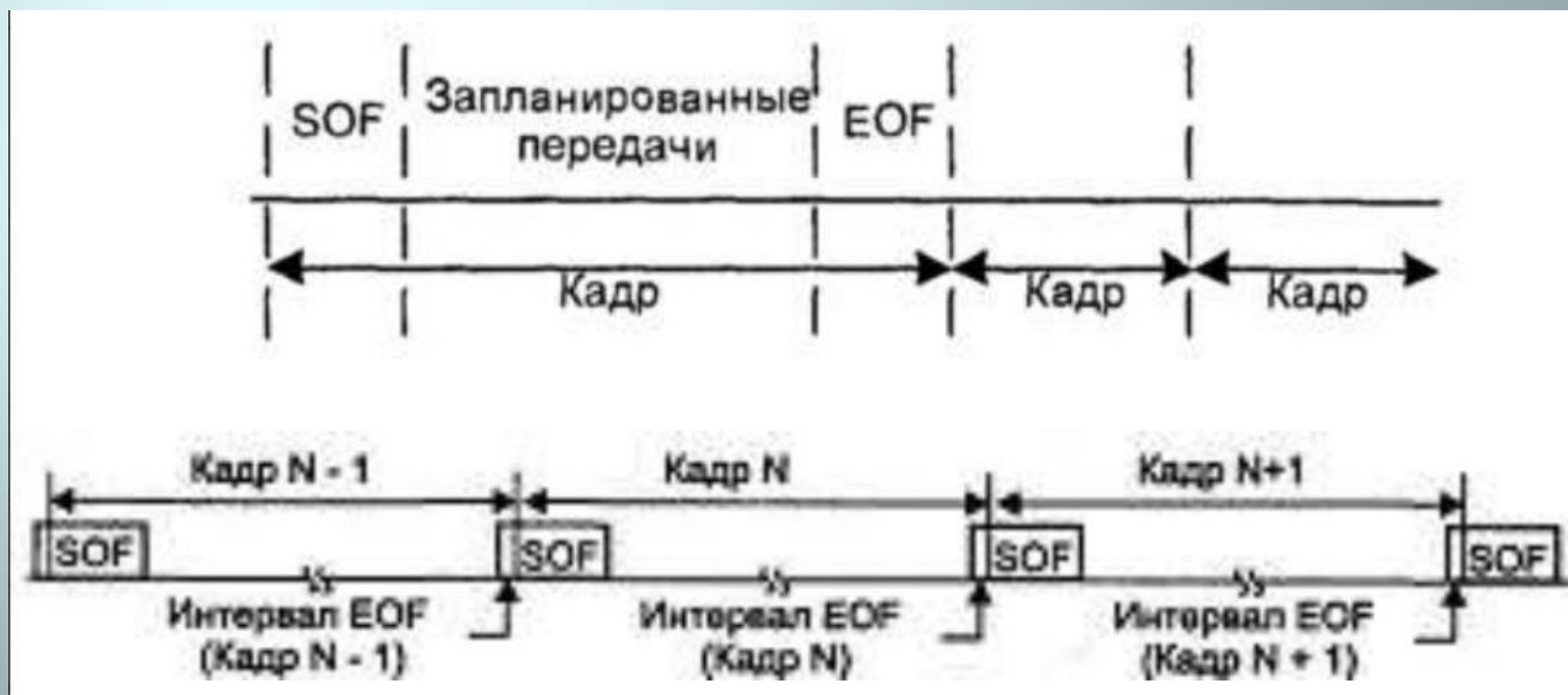
пакет данных;

Sync	PID	Check	EOP
8	4	4	2

пакет квитирования

2. Поток кадров USB

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



2. 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
сплошные 24 Мбайт/с

2. 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.

2. Прерывания, изохронные прерывания

- **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.

2. Полоса пропускания шины

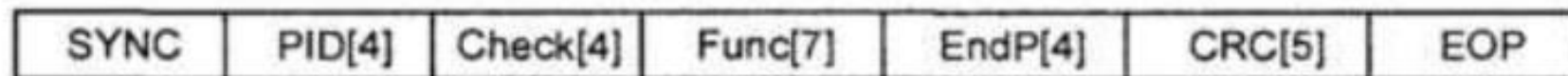
Полоса пропускания шины делится между всеми установленными каналами.

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.

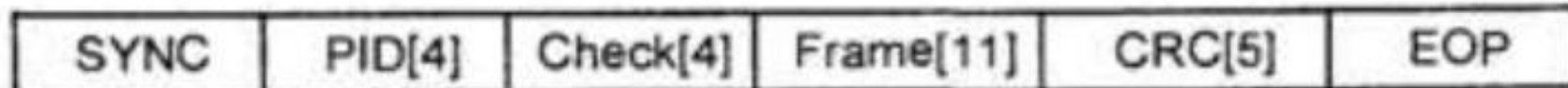
Архитектура USB предусматривает внутреннюю буферизацию всех устройств, причем чем большей полосы пропускания требует устройство, тем больше должен быть его буфер. Шина USB должна обеспечивать обмен с такой скоростью, чтобы задержка данных в устройстве, вызванная буферизацией, не превышала нескольких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

2. 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).



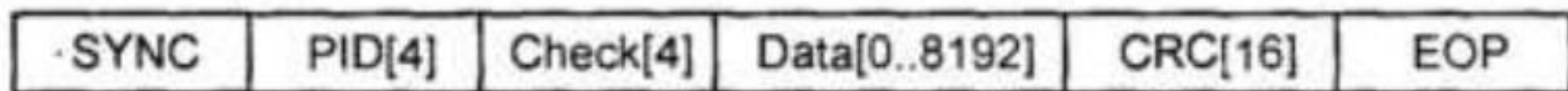
- SOF – маркер начала микрокадра, несет 11-битный номер кадра (вместо полей Addr и EndP)



2. Типы пакетов данных

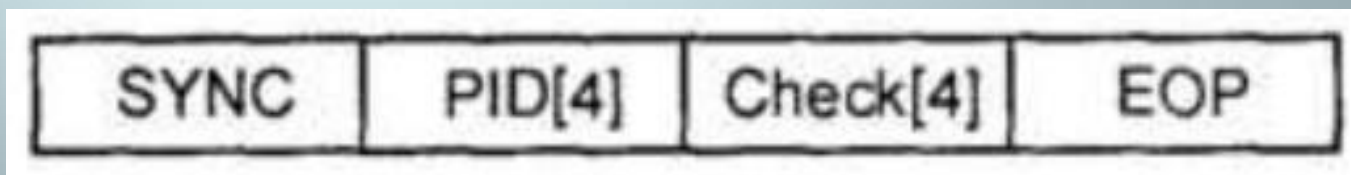
DATA0, *DATA1* – пакеты данных; чередование PID позволяет различать четные и нечетные пакеты для контроля правильности подтверждения.

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



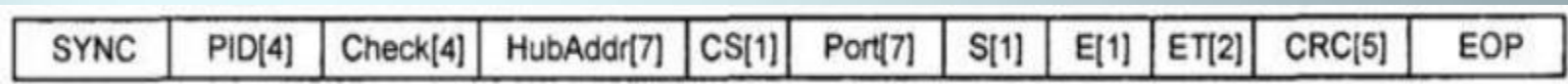
2. Типы пакетов квитирования

- *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)).



2. 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 зависимости от назначения обозначается как *SS* (маркер запуска) и *CS* (маркер завершения), назначение определяется битом *SC* в теле маркера.



[7] адрес хаба;

[1] флаг SC;

[7] адрес порта;

[1] поле S;

[1] поле E;

[1] тип конечной точки ET;

[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].

2. Контрольная сумма

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

Образующий полином есть двоичное представление одного из простых множителей на которые раскладываются число $X^n - 1$, где X^n обозначает единицу в n -м разряде, n равно числу разрядов кодовой группы. Так, если $n = 10$ и $X = 2$, то $X^n - 1 = 1023 = 11 * 93$, и если $g(X) = 11$ или в двоичном коде 1011

Алгоритм вычисления CRC:

1. Выбрать полином $P(x)$ в результате автоматически становится известной его степень N .
2. К исходной двоичной последовательности S добавить N нулевых битов. Это добавление делается для гарантированной обработки всех битов исходной последовательности.
3. Выполнить деление двоичной последовательности S на полином $P(x)$ по правилам CRC-арифметики. Заполнить остаток, который и будет являться CRC.
4. Сформировать окончательное сообщение, которое будет состоять из двух частей: собственно сообщения и добавленного в его конец значения CRC.

2. Типы транзакций

Спецификация USB определяет следующие типы транзакций:

- передача команды;
- изохронная передача данных;
- передача данных с подтверждением;
- изохронный прием данных;
- прием данных с подтверждением.

2. 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).

2. 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 $2 \cdot bInterval - 1$ 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 *DATA0*.

2. Транзакции изохронных передач

- 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:

- если один пакет, то это будет *DATA0*;
- если два — последовательность будет *DATA1, DATA0*;
- Если 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 *DATA0*, 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.

2. 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),
- 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.

2. Протокол транзакции

Все обмены (транзакции) по USB состоят из **трех пакетов**.

Каждая транзакция планируется и начинается по инициативе хост-контроллера, 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).



2. 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.

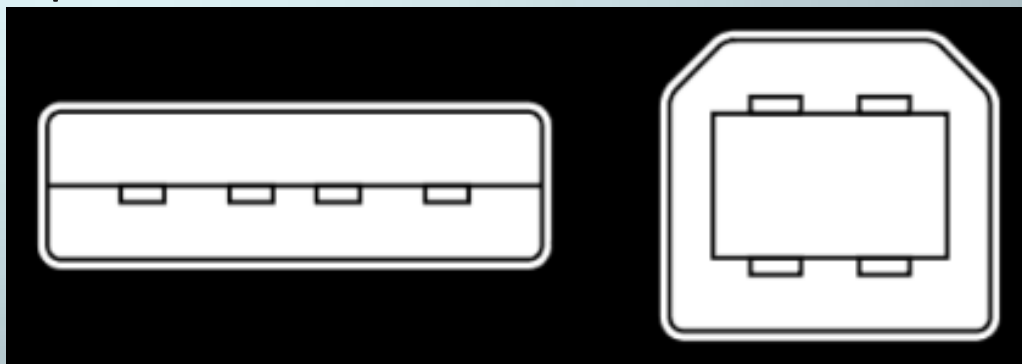
Синхронное соединение на USB основано на изохронных передачах.

2. Физический интерфейс USB

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



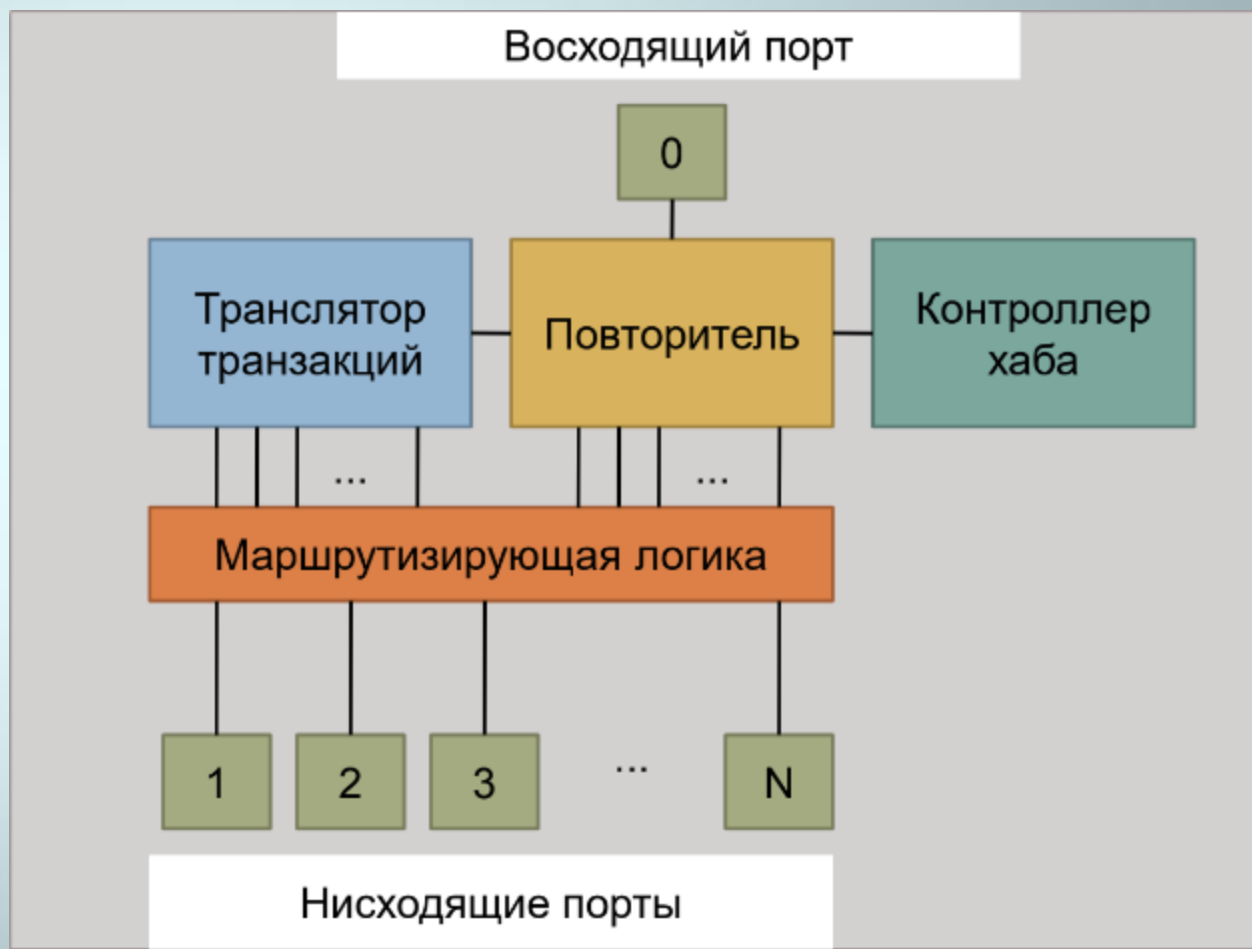
2. Хабы USB

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.

2. Структура хаба USB



2. 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.

2. Основные области применения USB

- **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.

2. Основные области применения USB

- **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 COM-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.

2. Основные области применения USB

- 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-232-C (эмуляция UART 16550A — основы COM-портов) и другие последовательные интерфейсы (RS-422, RS-485, V.35...),
 - эмуляторы портов клавиатуры и даже Game-порта,
 - переходники на шину ATA, ISA, PC Card и любые другие, для которых достаточно производительности. Здесь USB становится палочкой-выручалочкой, когда встает проблема 2-го (3-го) LPT- или COM-порта в блокнотном ПК и в других ситуациях. При этом ПО преобразователя может обеспечить эмуляцию классического варианта «железа» стандартных портов IBM PC, 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 ОС 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 PC спецификациями PC'99 и PC'2001. Скорость передачи данных через конвертер USB — LPT может оказаться даже выше, чем у реального LPT-порта, работающего в режиме SPP.

2. Основные области применения USB

- **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 ATA-ATAPI — по сути, это лишь преобразователи интерфейсов, помещенные в коробку-отсек формата 5" или 3,5", а иногда выполненные прямо в корпусе 36контактного разъема ATA. Имеются и устройства чтения-записи карт SmartMedia Card и CompactFlash Card.

2. Основные области применения USB

- **Игровые устройства** — джойстики всех видов (от «палочек» до автомобильных рулей), пульта 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 PC'99).
- **Телефоны** — аналоговые и цифровые (ISDN). Подключение телефонного аппарата позволяет превратить компьютер в секретаря с функциями автодозвона, автоответчика, охраны и т. п.

2. Основные области применения USB

- **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 COM- и LPT-портов.

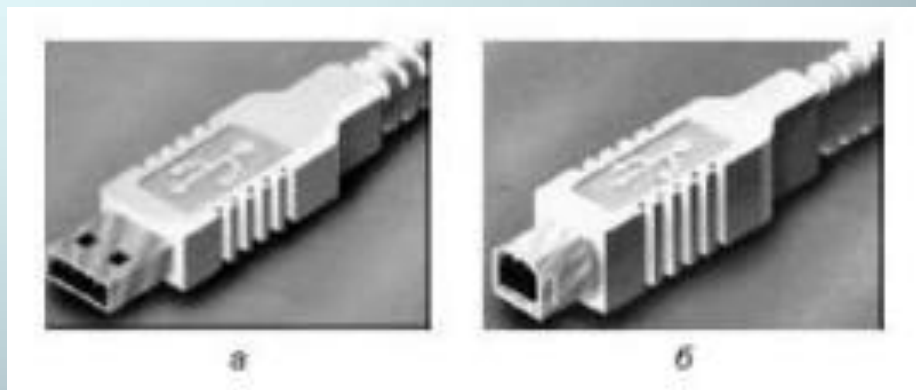
2. Основные области применения USB

- **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.).

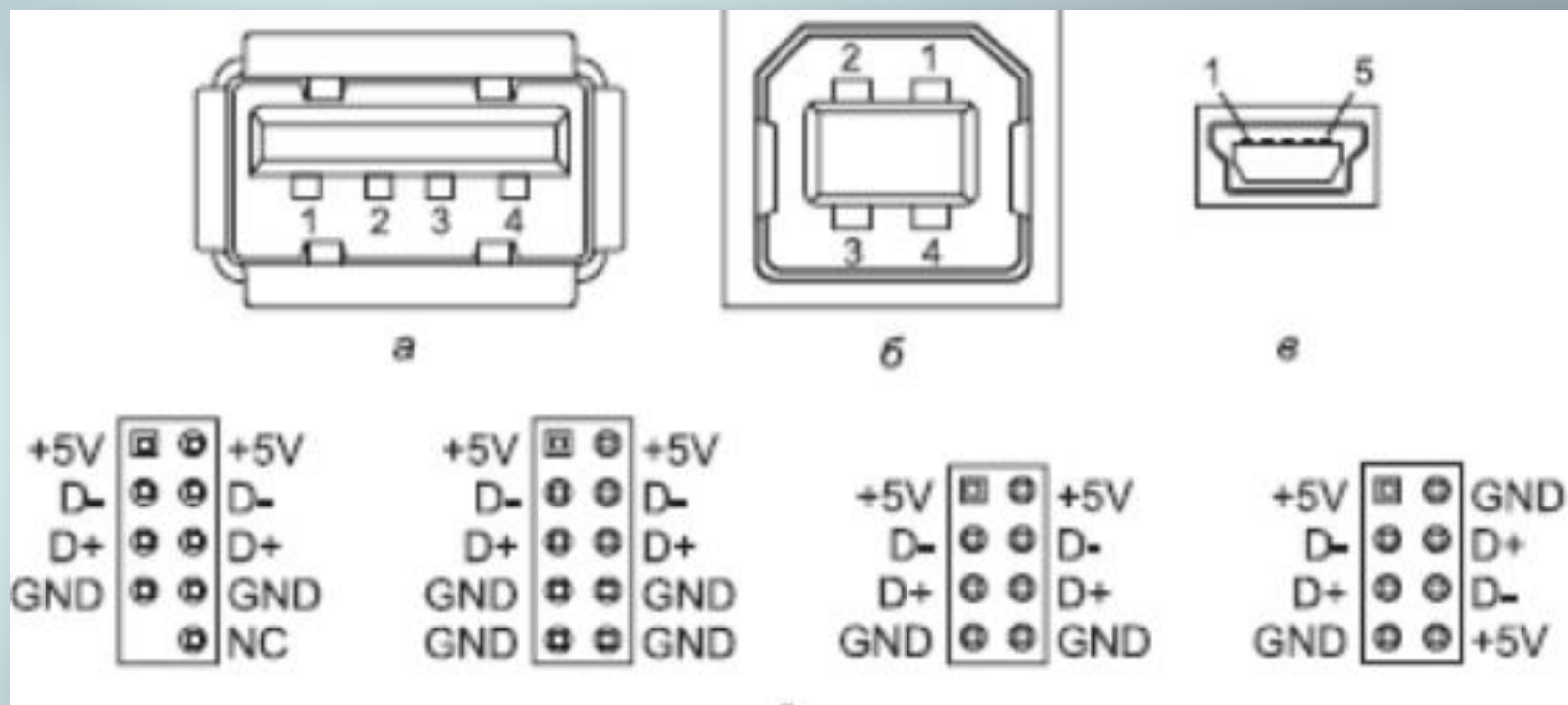
2. Физический интерфейс USB

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 OTG имеются и вилки mini-A, и розетки mini-AB.

Хабы и устройства обеспечивают возможность «горячего» подключения и отключения с сигнализацией об этих событиях хосту.

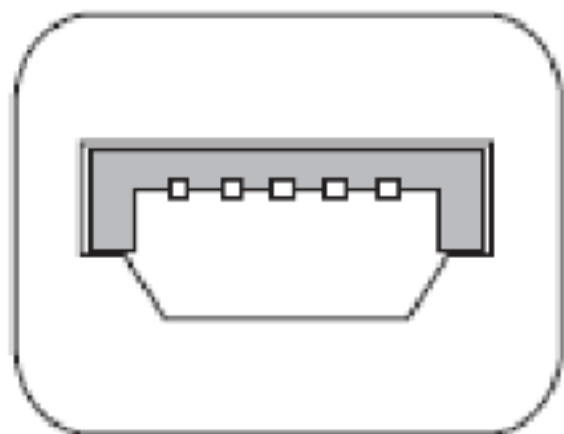


2. Физический интерфейс USB

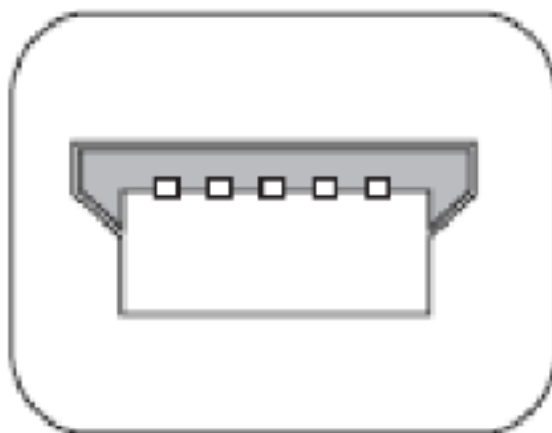


Разъемы USB: а — гнездо «А»; б — гнездо «В»; в — гнездо «miniB»; г — варианты разъема на системной плате

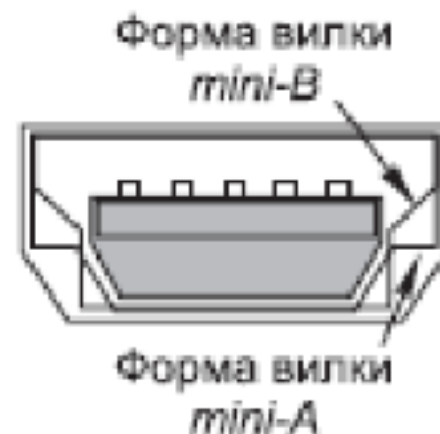
2. Разъемы OTG



а



б



в

а — вилка mini-A;

б — вилка mini-B;

в — розетка mini-AB

2. Wireless USB

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.

2. Физический уровень Wireless USB

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 UWB-радиоплатформы (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 MAC-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.

2. 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 трансивера.

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 установка и настройка;
- обратная совместимость с проводной шиной USB;
- низкие затраты на реализацию.

2. Wireless USB

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 PC 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 вытеснить, а он 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.

2. Wireless USB. 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 стремится 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.

2. Спецификация USB Type-C

USB Type-C или **USB-C** — спецификация USB для универсального компактного двухстороннего 24-контактного разъёма для USB-устройств и USB-кабелей.

Спецификация коннекторов USB Type-C версии 1.0 была опубликована форумом разработчиков USB в августе 2014 года. Она была разработана примерно в то же время, что и спецификация USB 3.1.

Разъёмы USB Type-C служат для подключения как к периферийным устройствам, так и к компьютерам, заменяя различные разъёмы и кабели типов A и B предыдущих стандартов USB, и предоставляя возможности расширения в будущем.

Использование коннектора USB Type-C не обязательно означает, что устройство реализует высокоскоростной стандарт USB 3.1 Gen1/Gen2 или протокол USB Power Delivery.



штекер USB 3.0 type C



гнездо USB 3.0 type C

2. Отличия USB Type-C от USB

- скорость передачи данных **до 10 gbps**;
- возможность запитывания от порта устройств с потребляемой мощностью вплоть до 100вт;
- размеры коннектора сравнимые с micro-usb;
- симметричность разъёма — у него не существует верха и низа, а значит нет ключа, который часто приводит к повреждениям как самих разъёмов, так и подключаемых через них гаджетов;
- с помощью данного интерфейса можно запитывать устройства с напряжением **вплоть до 20 вольт**;
- больше не существует разных типов коннекторов — А и В. На обоих концах кабеля стоят совершенно одинаковые разъёмы. Как данные так и питающее напряжение могут передаваться через один и тот же разъём в обоих направлениях. В зависимости от ситуации каждый разъём может выступать в роли ведущего или ведомого;
- нам обещают, что конструкция разъёма способна выдерживать **до 10 000 подключений**;
- возможно использование этого интерфейса для непосредственного подключения вместо некоторых других широко распространённых интерфейсов для быстрого обмена данными;
- стандарт совместим сверху вниз как с обычным USB 3 интерфейсом, так и с его младшими братьями. Конечно не на прямую, но с помощью переходника через него возможно подключение скажем USB 2.0 диска.