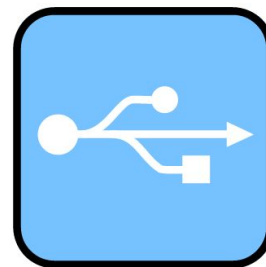


Шина USB

(Universal Serial Interface)

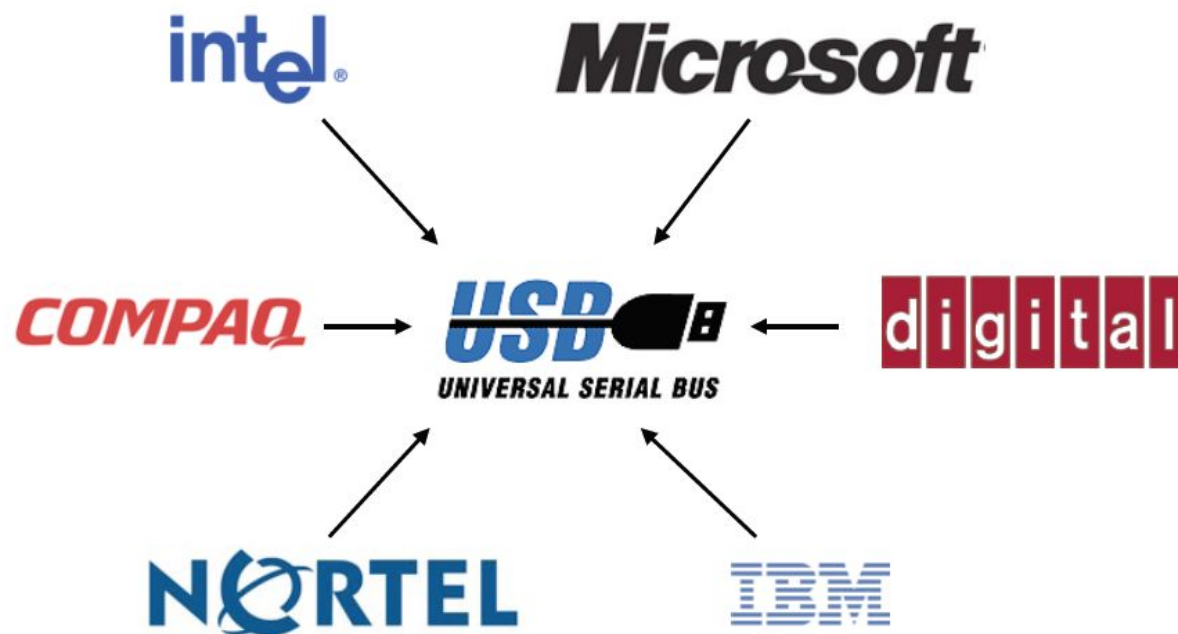


Первые спецификации для USB 1.0 были представлены в 1994—1995 годах. Разработка USB поддерживалась фирмами **Intel, Microsoft, Philips, US Robotics**. USB стал «общим знаменателем» под стремлениями разных компаний:

Расширение функциональности компьютера. На тот момент для подключения внешних периферийных устройств к персональному компьютеру использовалось несколько «традиционных» интерфейсов (**PS/2, последовательный порт, параллельный порт, порт для подключения джойстика, SCSI**), и с появлением новых внешних устройств разрабатывали и новый разъём. Предполагалось, что USB заменит их все и заодно подхлестнёт разработку нетрадиционных устройств.

Простота для пользователя. **Старые интерфейсы (например, последовательный (COM) и параллельный (LPT) порты) были крайне просты для разработчика, но не соответствовали требованиям спецификаций «Plug and Play».** Требовались новые механизмы взаимодействия компьютера с низко- и среднескоростными внешними устройствами — возможно, более сложные для конструкторов, но надёжные, дружелюбные и пригодные к «горячему» подключению.

История стандарта USB



- С развитием компьютерных технологий и резким ростом количества внешних устройств подключаемых к компьютеру возникла острая необходимость в унификации интерфейсных стандартов.
- Стандарт USB был разработан в середине 90-х годов лидерами компьютерной отрасли как универсальный интерфейс для подключения внешних устройств к компьютеру.

USB 1.0

Технические характеристики:

два режима работы:

режим с низкой пропускной способностью (Low-Speed) — 1,5 Мбит/с

режим с высокой пропускной способностью (Full-Speed) — 12 Мбит/с

максимальная длина кабеля (без экрана) для режима Low-Speed — 3м

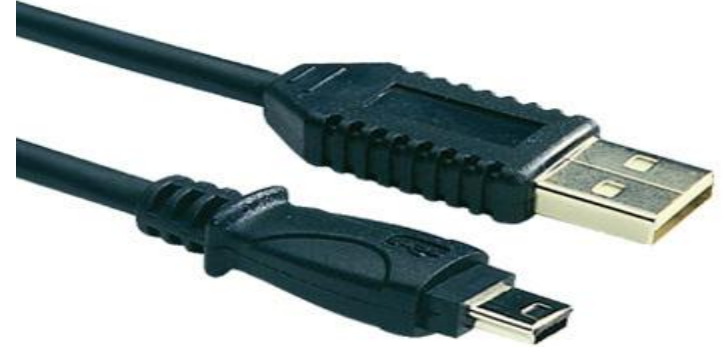
максимальная длина кабеля (в экране) для режима Full-Speed — 5м

максимальное количество подключённых устройств (включая
размножители) — 127 возможно подключение «разноскоростных»
периферийных устройств к одному контроллеру USB

напряжение питания для периферийных устройств — 5 В

максимальный ток, потребляемый периферийным устройством — 500 мА

USB 2.0



Спецификация выпущена в апреле 2000 года. USB 2.0 отличается от USB 1.1 введением режима High-speed (пометка на логотипе — «HI-SPEED»).

Для устройств USB 2.0 регламентировано три режима работы:

- Low-speed, 10—1500 Кбит/с (клавиатуры, мыши, джойстики)
- Full-speed, 0,5—12 Мбит/с (аудио-, видеоустройства)
- High-speed, 25—480 Мбит/с (видеоустройства, устройства хранения информации)

USB 3.0

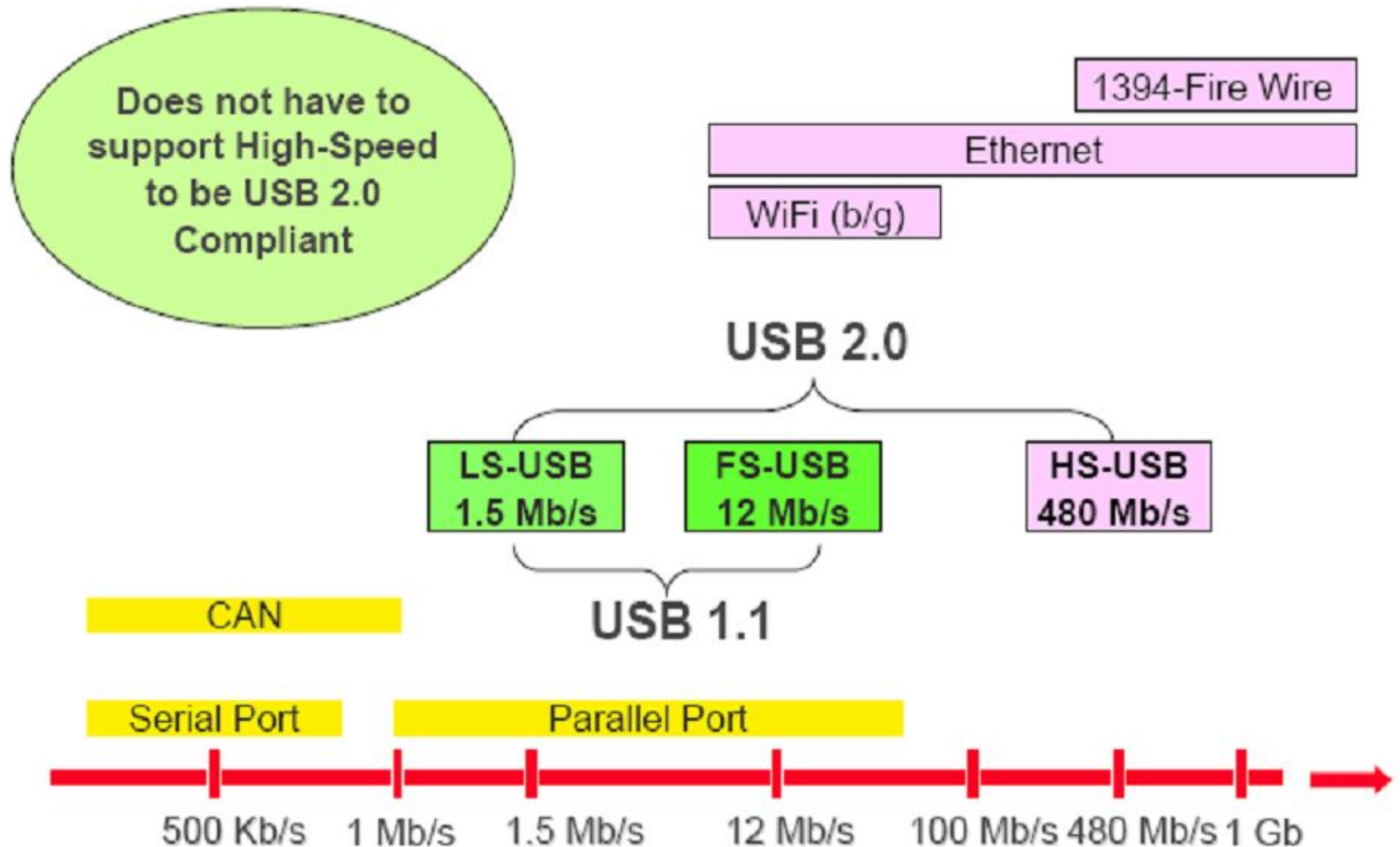
Анонс в 2008 году.



В спецификации USB 3.0 разъёмы и кабели физически и функционально совместимы с USB 2.0, для однозначной идентификации разъёмы USB 3.0 принято изготавливать из пластика синего цвета. В USB 3.0 **добавляется ещё четыре линии связи (две витые пары)**, в результате чего кабель стал гораздо толще. Новые контакты в разъёмах USB 3.0 расположены отдельно от старых в другом контактном ряду.

Скорость передачи информации до 5 Гбит/с. Таким образом, скорость передачи возрастает с 60 Мбайт/с до 600 Мбайт/с . Версия 3.0 отличается увеличенной силой тока с 500 мА до 900 мА.

Buses and Speed Comparison



Архитектура шины USB

1. Последовательная передача данных.
2. Полудуплексный режим передачи.
3. Принцип действия – сетевой с маркерным доступом.
4. Максимальное количество подключаемых устройств – 127.
5. Скорость передачи: USB1 - 1,5 Мбит/сек, 12 Мбит/сек
USB2 - 480 Мбит/сек
USB3 – 5 Гбит/сек
6. Наличие автоконфигурации.
7. Горячее подключение.
8. Возможно питание от шины (500 ма - 2.0, 900 ма - 3.0).
9. Топология шины – многоуровневая звезда.

Описание интерфейса

Интерфейс **USB** (Universal Serial Bus - Универсальный Последовательный Интерфейс) предназначен для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру. Позволяет производить обмен информацией с периферийными устройствами на четырех скоростях:

- ***Low Speed*** (стандарты версии 1.1 и 2.0).
Пиковая скорость передачи данных — 1.5 Мбит/с . Чаще всего применяется для HID-устройств (клавиатур, мышей, джойстиков).
- ***Full Speed*** (стандарты версии 1.1 и 2.0).
Пиковая скорость передачи данных — 12 Мбит/с (1.5 Мбайт/с).
- ***Hi-Speed*** (стандарты версии 2.0 и 3.0).
Пиковая скорость передачи данных — 480 Мбит/с (60 Мбайт/с).
- ***Super-Speed*** (стандарты версии 3.0).
Пиковая скорость передачи данных — 4.8 Гбит/с (600 Мбайт/с).

Тип разъемов

USB

Standard A

- D+ D- +



4 3 2 1

Номер контакта	4	3	2	1
Обозначение	Земля	D+	D-	Питание

Standard B

+ D-

1 2



4 3

- D+

Разъемы

	Обычный	Mini	Micro
Тип А	4×12 мм 	3×7 мм  Mini USB Тип А (слева) Mini USB Тип В (справа)	2×7 мм 
Тип В	7×8 мм 	3×7 мм  Micro USB Тип В (слева) Mini USB Тип В (справа)	2×7 мм 

Физический интерфейс USB

Кабель имеет 4 провода: два для передачи сигналов(Д+ и Д -), два для подачи питания (5в). Дифференциальный способ передачи сигналов.

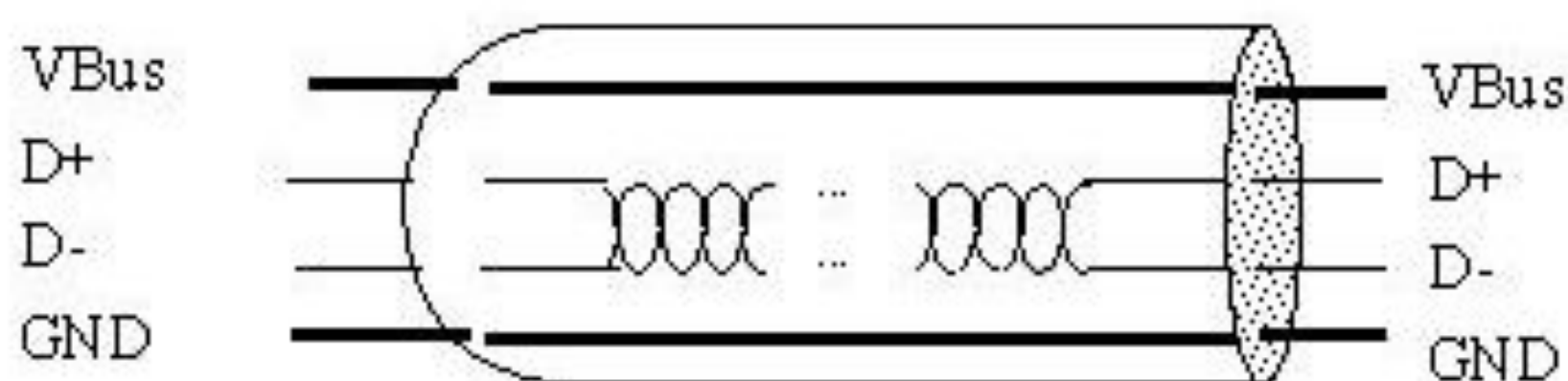
Передатчик должен иметь 3-е высокоимпедансное состояние, для реализации полудуплексного режима передачи данных.

Кроме дифференциального сигнала приемник и передатчик могут работать и с линейными сигналами. Это дает возможность иметь более двух состояний линий.

Состояния линий:

- линейный ноль (SEO, Singl-Endet Zero): – Д + и Д – низкий уровень,
- состояние передаваемых бит : Data J State(J), Data K State(K),
- пауза на шине: Idle State,
- сигнал «пробуждения» : Resume State,
- начало пакета: Start of Packet – переход из Idle State в состояние K,
- конец пакета: End of Packed,
- устройство отключено от порта: Disconnekt,
- устройство подключено к порту: Connekt,
- сброс устройства: Reset.

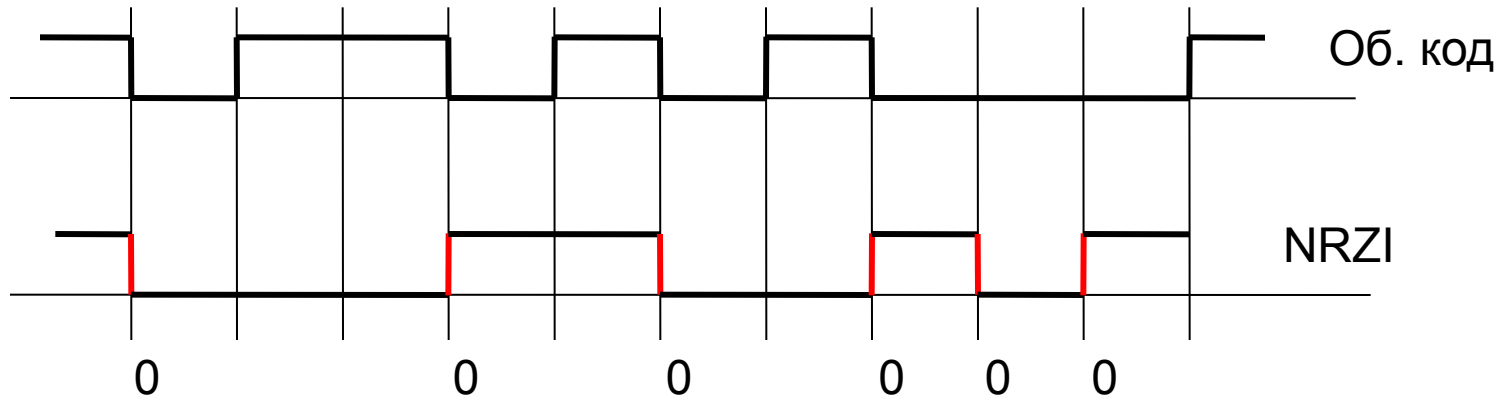
Рис. 2-4 Стандартный кабель USB



Кодирование информации

Используется NRZI – кодирование.

0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1



Если подряд идет более 6 единиц, то после шестой вставляется 0.

Рис. 2-1 Топология шины USB



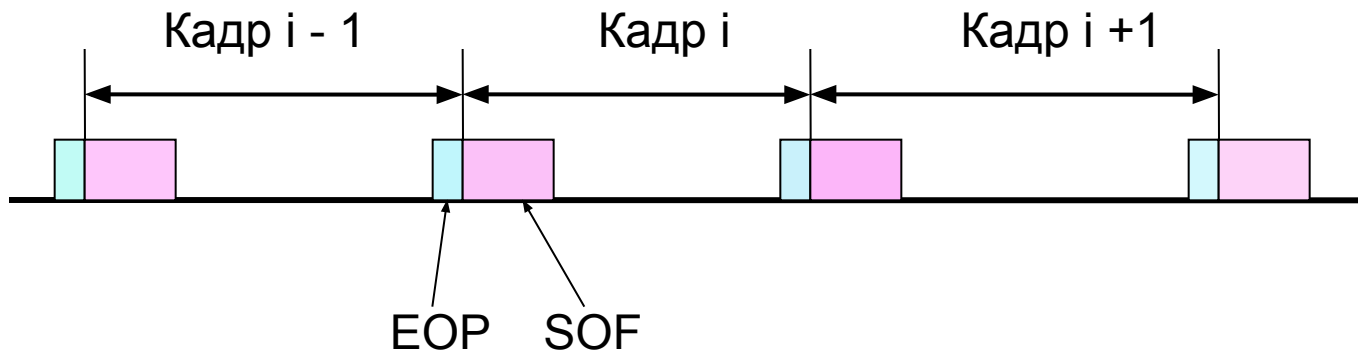
Передача данных

Механизм передачи данных - асинхронный и блочный. Блок передаваемых данных называется USB-фреймом или USB-кадром и передается за фиксированный временной интервал. Оперирование командами и блоками данных реализуется при помощи логической абстракции, называемой каналом. Внешнее устройство также делится на логические абстракции, называемые конечными точками. Таким образом, канал является логической связкой между хост-контроллером и конечной точкой внешнего устройства.



Протокол шины USB

Протокол шины USB обеспечивает обмен данными между хостом и устройством. **Используется мультиплексирование данных с временным уплотнением.** Единицей передаваемой информации является транзакция, состоящая из двух - трех пакетов. Хост-контроллер циклически с периодом 1мс(USB1) или 125 мкс(USB2) для обмена с устройствами формирует кадры, содержащие несколько транзакций. Кадры передаются согласно плану распределения ресурсов. Каждый кадр начинается с пакета-маркера начала кадра SOF (Start Of Frame), а заканчивается интервалом времени EOF(End Of Frame). Кадры нумеруются последовательно. В маркере SOF передаются 11 младших бит номера кадра



Формат пакета SOF

Поле пакета SOF содержит

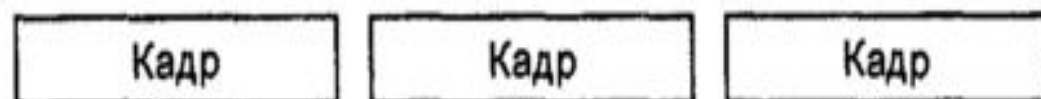
(полный формат пакета показан на рисунке):

- [11] номер кадра
- [5] циклический контрольный код.

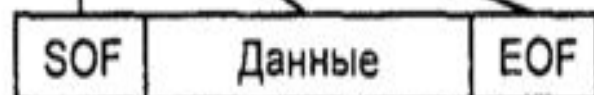
Пакет SOF используется для отметки начала кадра.

Рис. 4-6 Структура маркерного пакета типа SOF

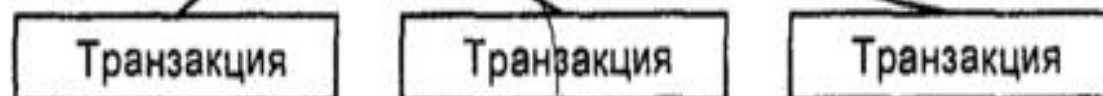




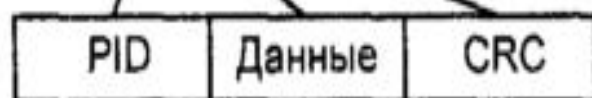
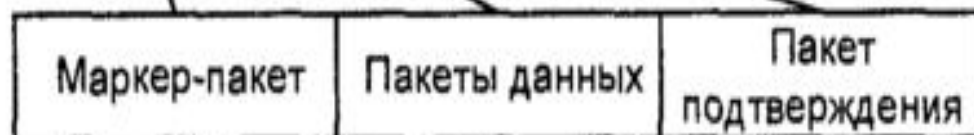
Хост-контроллер формирует кадры из наиболее приоритетных посылок



Каждая передача содержит одну или несколько транзакций



Каждая транзакция содержит маркер-пакет и может содержать пакеты данных и (или) пакет подтверждения



Каждый пакет начинается с идентификатора типа PID и может содержать дополнительную информацию и контрольную сумму

Каждая транзакция планируется и начинается по инициативе хост-контроллера, который посылает пакет-маркер транзакции (**token packet**).

Маркер транзакции описывает
тип и направление передачи,
адрес выбранного устройства USB и
номер конечной точки.

Адресуемое маркером устройство распознает свой адрес и готовится к обмену. Источник данных, определенный маркером, передает пакет данных.

Транзакции и пакеты

Транзакция содержит последовательность пакетов.

Пакет начинается с синхропоследовательности один байт(USB1) – в коде NRZI: 10101011.

Две 1 означают начало информационной части пакета SOP (Start Of Packet).

Пакет заканчивается сигналом конца пакетаEOP (End Of Packet) – переводом обеих линий данных в низкое состояние SEO (Singl-Ended Zero).

В зависимости от назначения пакет имеет 3 формата:
маркер,
пакет данных и
пакет квитирования.

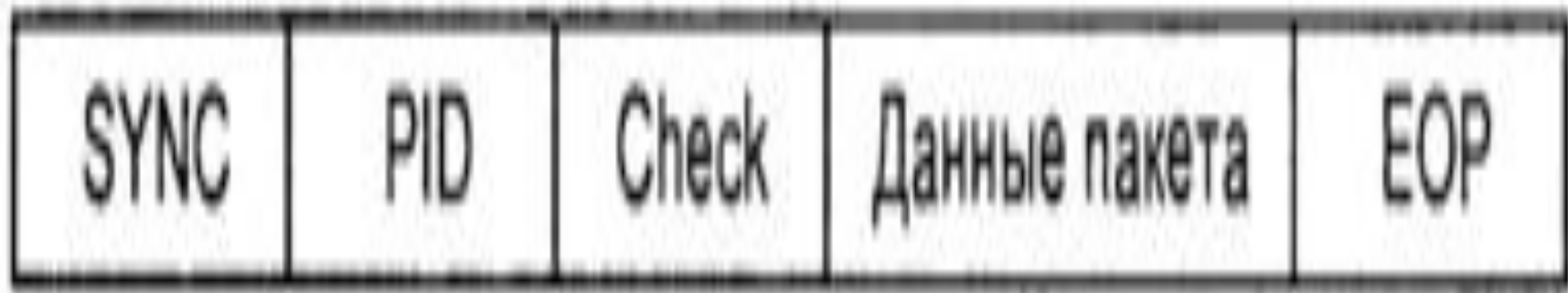
Каждый пакет начинается с их идентификатора PID.

Код PID задает тип пакета, т.е. его назначение и функцию.

Пакет квитирования имеет только поле PID.

Пакеты

Информация по каналу передается в виде пакетов (Packet). Каждый пакет начинается с поля синхронизации SYNC (SYNChronization), за которым следует идентификатор пакета PID (Packet Identifier). Поле Check представляет побитную инверсию PID.



Формат пакетов-маркеров IN, OUT, SETUP

Поле данных пакетов типа IN, OUT, SETUP содержит следующие поля:

- [7] адрес функции;
- [4] адрес конечной точки;
- [5] циклический контрольный код.

Маркер транзакции отмечает начало очередной транзакции на шине USB и позволяет адресовать до 127 функций USB (нулевой адрес используется для конфигурирования) и по 16 конечных точек в каждой функции. Поле CRC вычисляется по полям Func и EndP.

Поле	Sync	PID	Check	Addr	EndP	CRC	EOP
Длина, бит	8	4	4	7	4	5	2

Рис. 4-5 Структура маркерного пакета

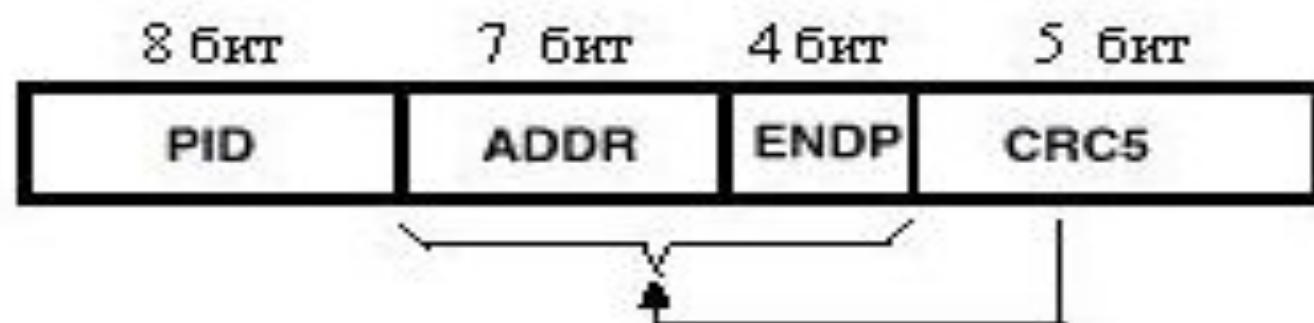


Рис. 4-1 Формат поля PID

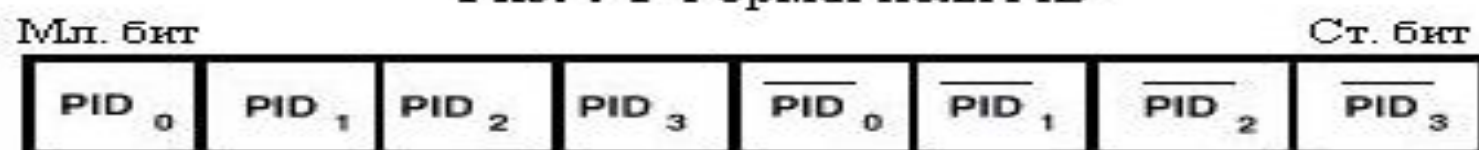


Рис. 4-2 Поле адреса функции

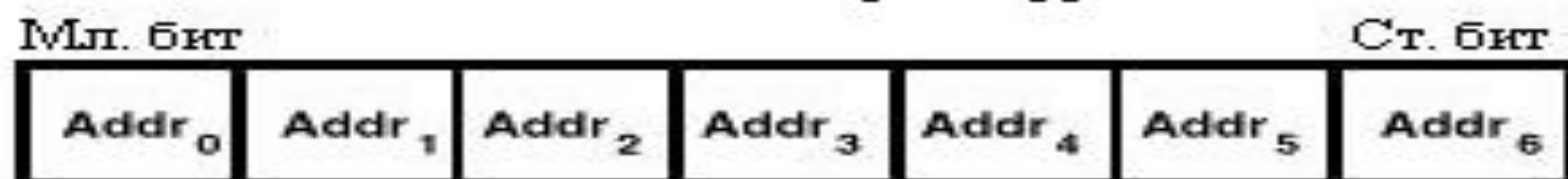
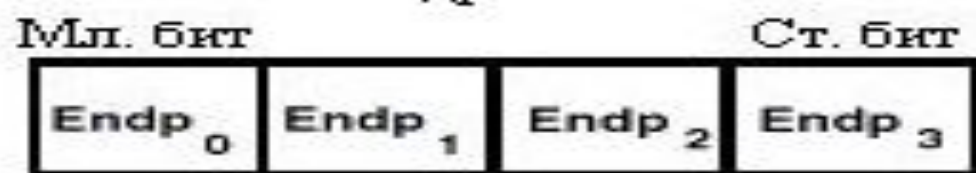


Рис. 4-3 Поле адреса конечной точки



PID пакетов-маркеров (Token)

OUT	0001	Маркер транзакции вывода, несет идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки; направление точки определяется кодом PID)
IN	1001	Маркер транзакции ввода, несет идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки; направление точки определяется кодом PID)
SETUP	1101	Маркер транзакции управления, несет идентификатор конечной точки (адрес устройства и номер точки)
SOF	0101	Маркер начала микрокадра, несет 11-битный номер кадра (вместо полей Addr и EndP)
PING	0100	Пробный маркер управления потоком (в USB 2.0)

Формат пакета данных

В поле данных пакетов типа Data0, Data1, Data2 и MData может содержаться от 0 до 1023 байт данных, за которыми следует 16-разрядный циклический контрольный код, вычисленный по полю Data. Пакет данных всегда должен посылать целое число байт. Для режима LS максимальный размер пакета равен 8 байтам, для FS — 1023 байта, а для HS — 1024 байта.

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

PID пакетов данных

DATA0

0011

DATA1

1011

Пакеты данных; чередование
PID позволяет различать четные
и нечетные пакеты для контроля
правильности подтверждения

DATA2

0111

Дополнительные типы пакетов
данных, используемые в
транзакциях с

MDATA

1111

широкополосными
изохронными точками (в USB
2.0 для HS)

Рис. 4-7 Формат пакета данных

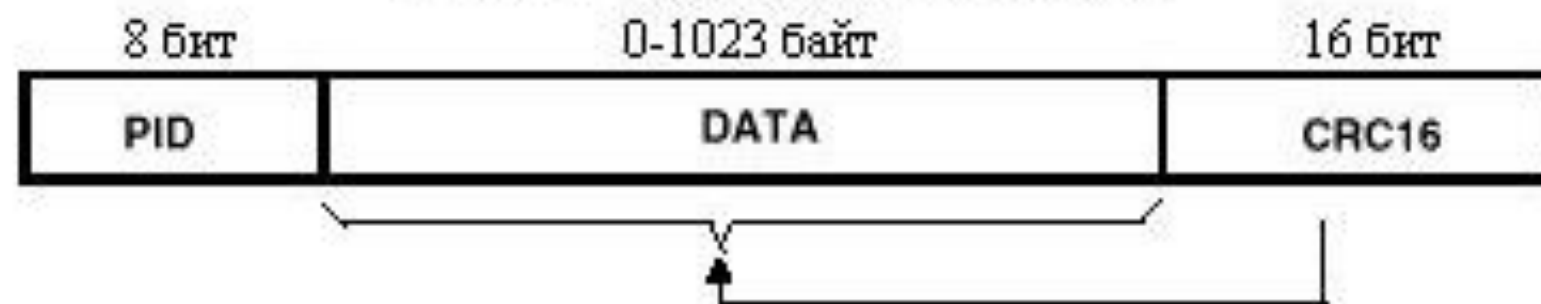


Рис. 4-1 Формат поля PID

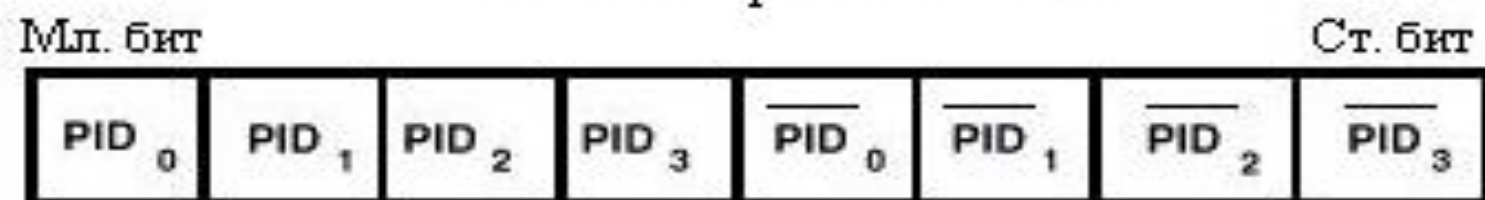
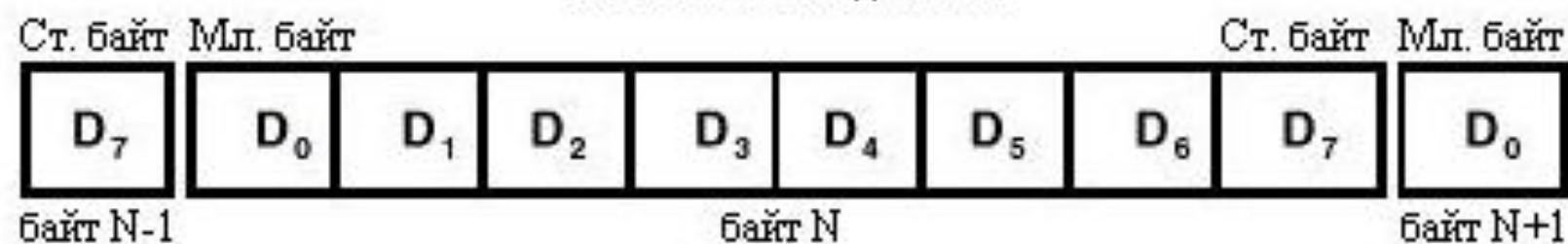


Рис. 4-4 Поле данных



Для подтверждений приема, управления потоком и сигнализации ошибок используются пакеты квитирования (handshake packets). Из этих пакетов хост-контроллер может посылать устройству только пакет ACK, подтверждающий безошибочный прием пакета данных.

Устройство для ответа хосту использует следующие пакеты квитирования:

ACK — подтверждение (положительное) успешного выполнения транзакции вывода или управления;

NAK — отрицательное подтверждение, является признаком неготовности устройства к выполнению данной транзакции (нет данных для передачи хосту, отсутствует место в буфере для приема, не завершена операция управления). Это является нормальным ответом, о котором не узнает никто, кроме хост-контроллера, вынужденного повторить данную транзакцию позже;

STALL — сообщение о серьезной ошибке, которое означает, что без специального вмешательства работа с данной конечной точкой невозможна. Этот ответ доводится до сведения и драйвера USB D, отменяющего дальнейшие транзакции с этой точкой, и до клиентского драйвера.

Для транзакции, относящихся к изохронным передачам, подтверждения приема пакетов - нет.

Для остальных типов передач работает механизм подтверждения, обеспечивающий гарантированную доставку данных. Форматы пакетов приведены на рис. 2, типы пакетов — в таблице. Во всех полях пакетов, кроме поля CRC, данные передаются младшим битом вперед (на временных диаграммах младший бит изображается слева).

Пакет начинается с синхропоследовательности Sync и завершается признаком конца — EOP. Тип пакета определяется полем PID.

PID пакетов квитирования (Handshake)

ACK	0010	Подтверждение безошибочного приема пакета
NAK	1010	Индикация занятости (неготовности конечной точки к обмену данными, незавершенности обработки транзакции управления)
STALL	1110	Конечная точка требует вмешательства хоста
NYET	0110	Подтверждение безошибочного приема, но указание на отсутствие места для приема следующего пакета максимального размера (в USB 2.0)

Формат пакета подтверждения

Sync	PID	Check	EOP
∞	4	4	2

Формат пакета подтверждения

Поле данных пакетов подтверждения пустое.

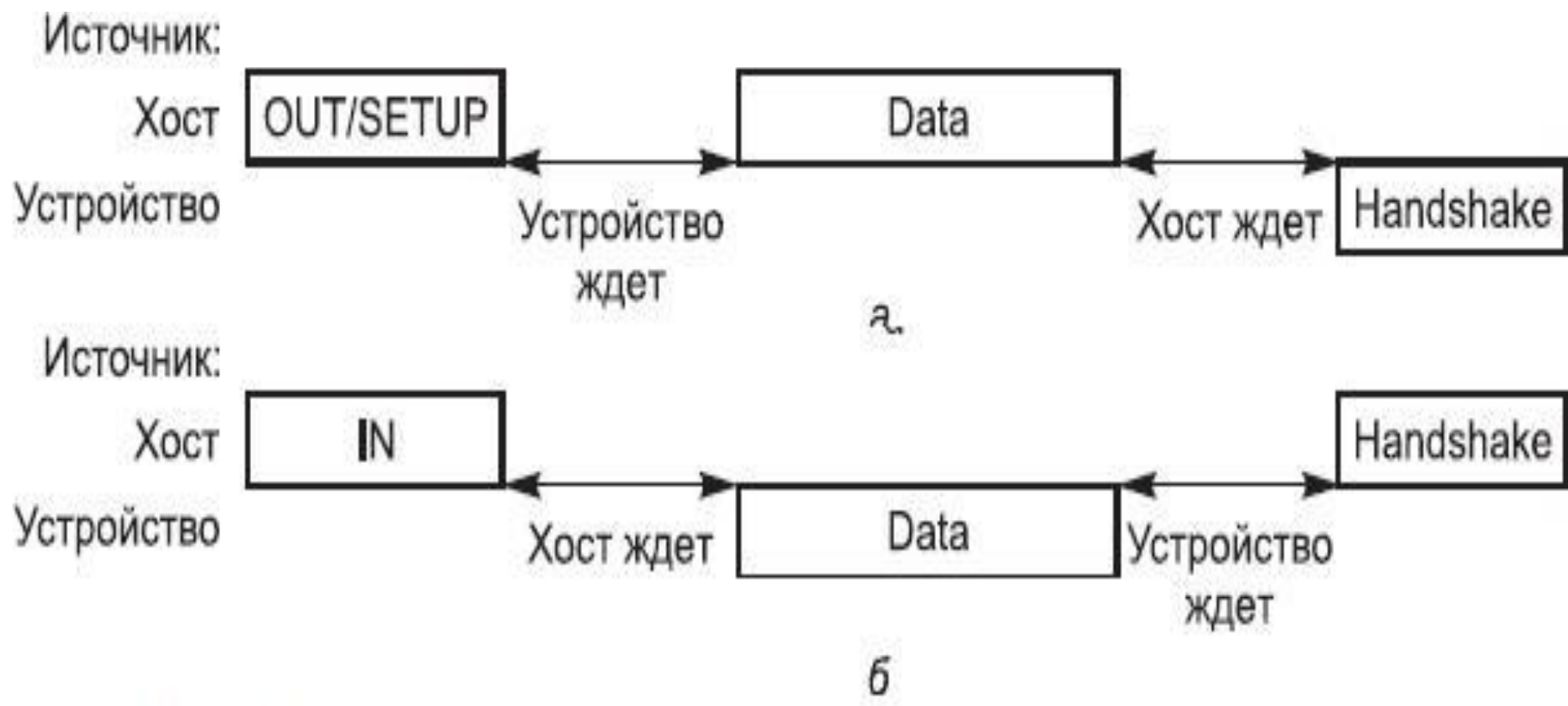


Рис.1. Последовательность пакетов в транзакциях на шине USB:
а — вывод; б — ввод данных

Конечные точки

Конечная точка (Endpoint) — это часть USB-устройства, которая имеет уникальный идентификатор и является получателем или отправителем информации, передаваемой по шине USB.

Любое USB-устройство имеет конечную точку с нулевым номером (Endpoint Zero). Эта точка позволяет хосту опрашивать устройство с целью определения его типа и параметров, выполнять инициализацию и конфигурирование устройства.

Кроме нулевой точки, устройства, обычно, имеют дополнительные конечные точки. Для низкоскоростных устройств допускается наличие одной или двух дополнительных конечных точек, а для высокоскоростных — до 15 входных и 15 выходных дополнительных точек.

Нулевая точка устройства доступна после того, как устройство подключено к шине, включено и получило сигнал сброса по шине (bus reset).

Характеристики конечной точки

1. Требуемая частота доступа и задержка обслуживания.
2. Требуемая частота пропускания канала.
3. Номер точки.
4. Требования к обработке ошибок.
5. Максимальный размер пакетов.
6. Тип обмена.
7. Направление обмена.

При конфигурации между драйвером устройства и конечной точкой устанавливаются коммуникационные каналы (communication pipe).

Передача информации между ними производится в виде транзакций.

Имеется два типа каналов:

Потоковый – однонаправленный, реализует сплошной, с прерываниями и изохронный тип передачи, без определенной структуры.

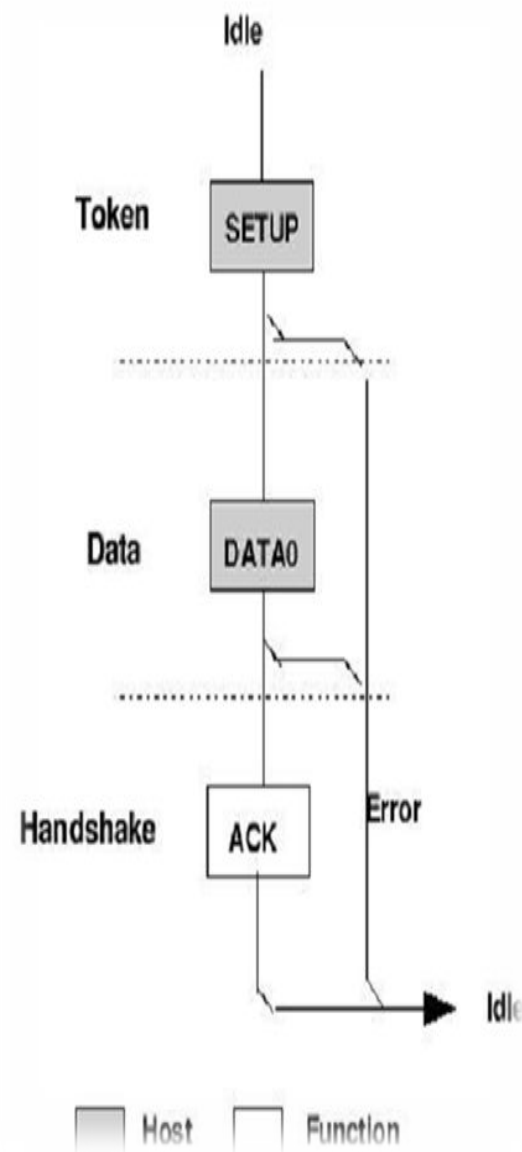
Сообщений – двунаправленный, реализует управляющий тип передачи, имеет формат определяемый спецификацией USB.

Типы передачи 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. Доставка гарантированная – при случайной ошибке выполняется повтор.
- Прерывания (**interrupt**) – короткие передачи, которые имеют спонтанный характер и должны обслуживаться не медленнее, чем того требует устройство. При случайных ошибках обмена выполняется повтор.
- Изохронные передачи (**isochronous transfers**) – непрерывные передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности шины с гарантированным временем задержки доставки.

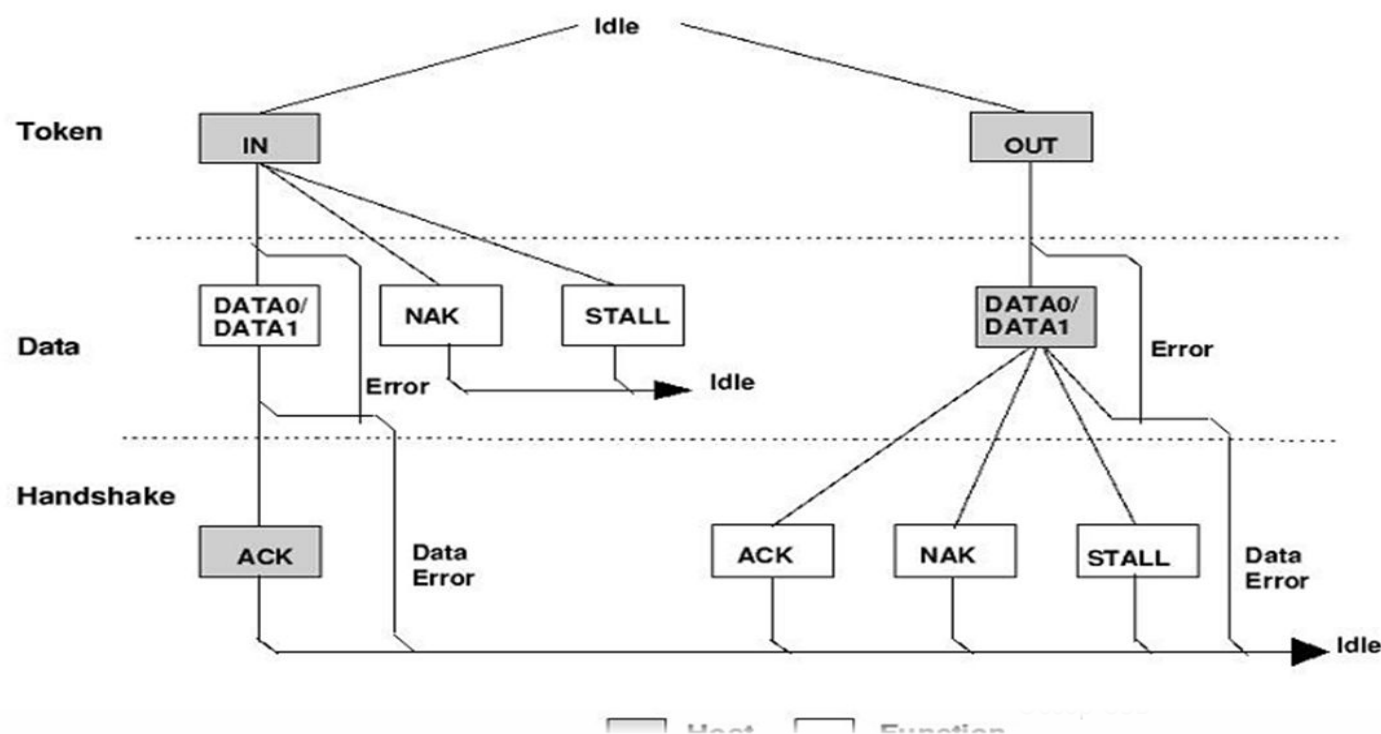
Control транзакции .

Транзакция control состоит из трех этапов: setup, data и status. Хост начинает транзакцию посылкой пакета SETUP, при этом передается информация о направлении передачи (IN или OUT) и предполагаемое количество байт данных. На этапе data (таковой может отсутствовать если нет данных для передачи) передаются данные в выбранном направлении, возможно количество данных будет больше заявленного и тогда этот этап будет содержать один или несколько дополнительных пакетов данных. Третий этап status – передача пакета, содержащего ответ, в обратном направлении. Завершает весь процесс обычная handshake процедура (NACK означает что устройство не готово, а STALL означает ошибку).



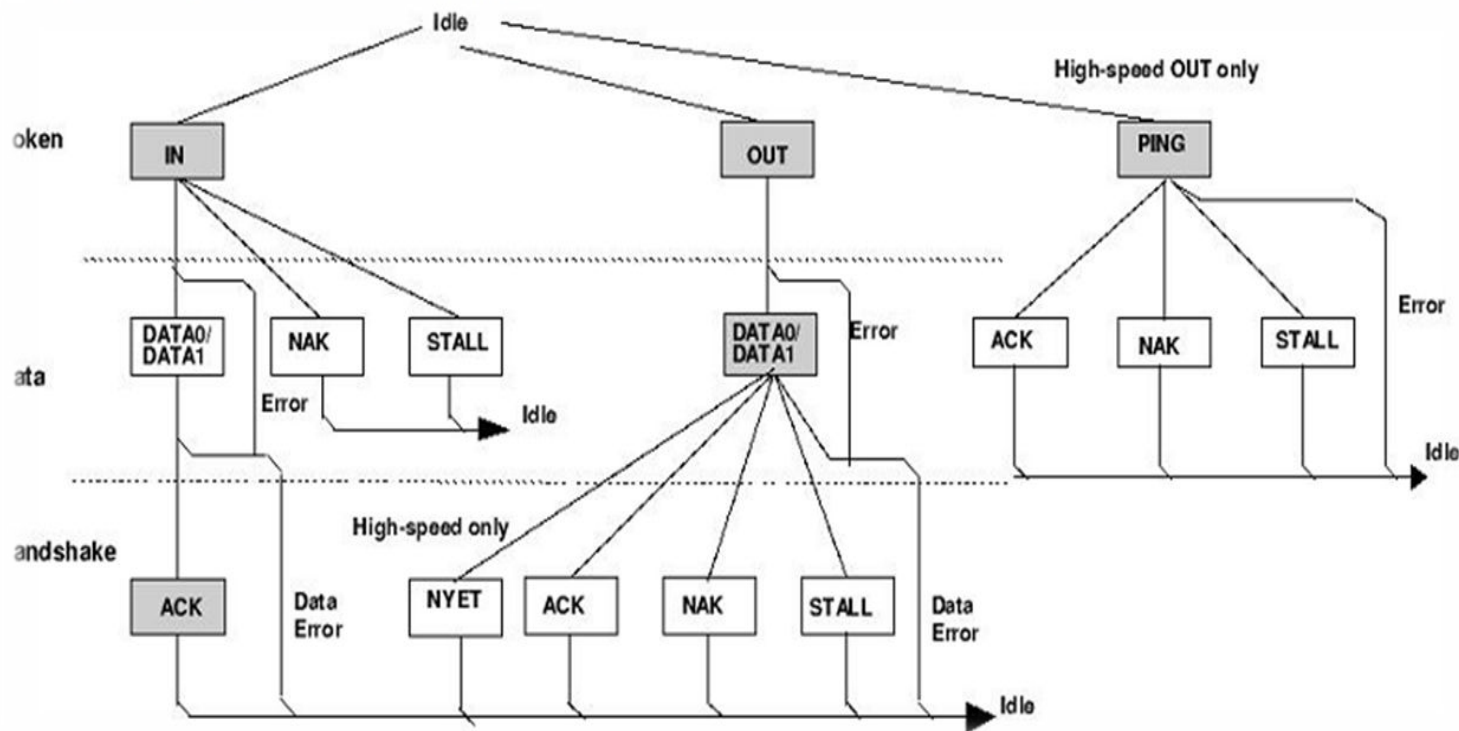
Bulk транзакции

Bulk обеспечивает передачу данных с подтверждением и повторной передачей в случае возникновения ошибок (гарантированная доставка). При этом данные передаются потоком один пакет вслед за другим. Каждый bulk endpoint в устройстве имеет тип IN либо OUT и соответственно предназначен для передачи данных только в одном направлении.



Interrupt транзакции.

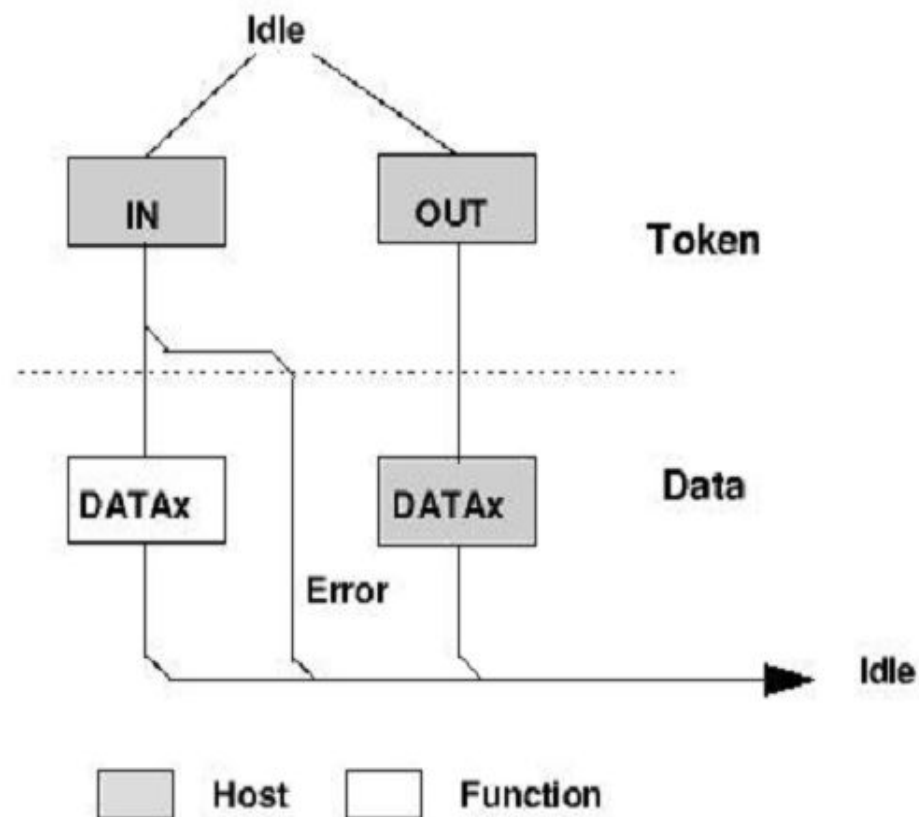
Хост посылает IN-token и устройство в ответ возвращает либо пакет данных, либо NACK (если данные не готовы), либо STALL (если данные не готовы). Получив пакет хост так же отвечает устройству ACK.



Isochron транзакции.

Хост передает устройству IN/OUT token пакет и вслед за ним принимает пакет данных isochron. Никакого handshake, никакой повторной передачи. Доставка данных не гарантирована, однако хост инициирует передачу пакетов с достаточной частотой и регулярностью, что каждый изохронный канал получает определенную (заявленную устройством) полосу пропускания для передачи. При этом максимальная латентность при передаче определяется только длительностью таймслота, которая составляет 1 миллисекунда для USB1.0 и 125 микросекунд для USB2.0.

Рисунок (isochron транзакции)



Устойчивость к ошибкам

Все принимаемые пакеты проверяются на ошибки.

Дублирование PID.

CRC код.

Вставка бит.

Счетчик тайм-аута

Проверка наличия ошибок:

*пакет начинается с синхронизирующей последовательности, за которой следует его идентификатор PID (Packet Identifier). За идентификатором следует его инверсная копия — Check. **Несовпадение двух копий** считается признаком ошибки;

*на физический уровень (в шину) данные пакета передаются с использованием вставки бит (bit stuffing, после шести единичных бит вставляется нолик), что предотвращает потерю битовой синхронизации при монотонном сигнале. **Прием более шести единичных бит подряд считается ошибкой** (на HS — признаком конца кадра);

*тело пакета (все поля пакета, исключая PID и признак EOP) защищается CRCкодом: 5-битным для пакетов-маркеров, 16-битным — для пакетов данных. **Несовпадение CRC с ожидаемым значением считается признаком ошибки;**

*пакет завершается специальным сигналом EOP; **если в пакете оказывается не целое число байт, он считается ошибочным.** Ложный EOP, даже на границе байта, не позволит принять пакет из-за практически неизбежной в данной ситуации ошибки по CRC-контролю;

<http://www.usbmadesimple.co.uk>

Сравнение с другими стандартами

Интерфейс	устройств/проводов /длина провода	скорость
USB 2.0	127/3/10	1.5, 12, 480Мбит/с
RS-232	1/6/50-100	115.2 Кбит/с
RS-485	1/6/50-100	10Мбит/с
FireWire	64/3/15	400Мбит/с
Ethernet	1024/3/1600	10,100,1000 Мбит/с
Ethernet	1024/3/1600	800Кбит/с-16Мбит/с

Разъемы

Номер контакта	4	3	2	1
Обозначение	GND	D+	D-	VBUS
Цвет провода	Чёрный	Зелёный	Белый	Красный

USB

Standard A

- D+ D- +

4 3 2 1

Standard B

+ D- 1 2

4 3

- D+

Размещение проводников

Данные передаются дифференциально по проводам D- и D+ Состояния «0» и «1» определяются по разности потенциалов между линиями более 0,2 В и при условии, что на одной из линий (D- в случае diff0 и D+ при diff1) потенциал относительно GND выше 2,8 В.

Спецификация скорости передачи данных

- **USB 1.0** скорость передачи данных от 1,5 мбит/с до 12 мбит/с
- **USB 2.0** скорость передачи данных от 12 мбит/с до 480 мбит/с
- **USB 3.0** скорость передачи данных от 480 мбит/с до 4800 мбит/с

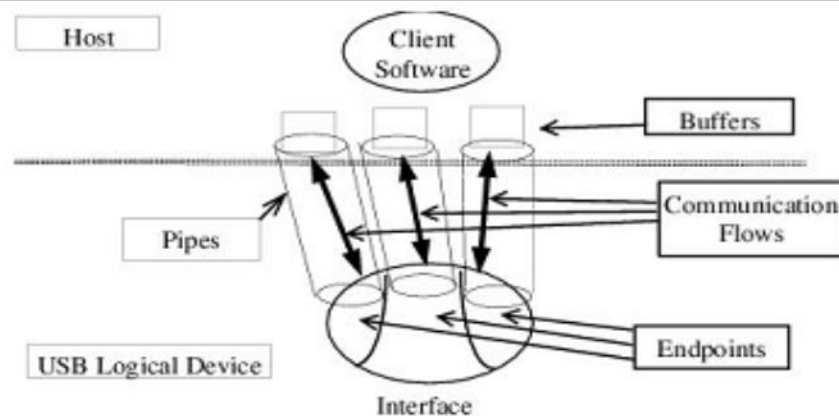
	Song / Pic	256 Flash	USB Flash	SD-Movie	USB Flash	HD-Movie
	4 MB	256 MB	1 GB	6 GB	16 GB	25 GB
USB 1.0	5.3 sec	5.7 min	22 min	2.2 hr	5.9 hr	9.3 hr
USB 2.0	0.1 sec	8.5 sec	33 sec	3.3 min	8.9 min	13.9 min
USB 3.0	0.01 sec	0.8 sec	3.3 sec	20 sec	53.3 sec	70 sec

Сравнение эффективности стандартов при средних показателях скоростей

Модель передачи данных

Данные передаются между хост– контроллером и функцией(ПУ) в виде потоков информации. Управляет всеми передачами хост – контроллер. Возможны передачи только между хост – контроллером и ПУ.

Функция представляется в виде логического устройства, состоящего из набора конечных точек (End Point, EP) – регистров. Каждое логическое устройство имеет свой адрес, каждая конечная точка идентифицируется своим номером. В низкоскоростных устройствах 3, а в высокоскоростных до 16 EP. Каждое устройство должно иметь EP с номером 0, через которую осуществляется конфигурирование и управление устройством. Для решения задачи в устройстве имеется набор из нескольких EP, называемых интерфейсом задачи. Если выполняется несколько задач, устройство имеет несколько интерфейсов. Набор одновременно поддерживаемых интерфейсов составляет конфигурацию устройства. Каждая конечная точка(EP) имеет набор характеристик.

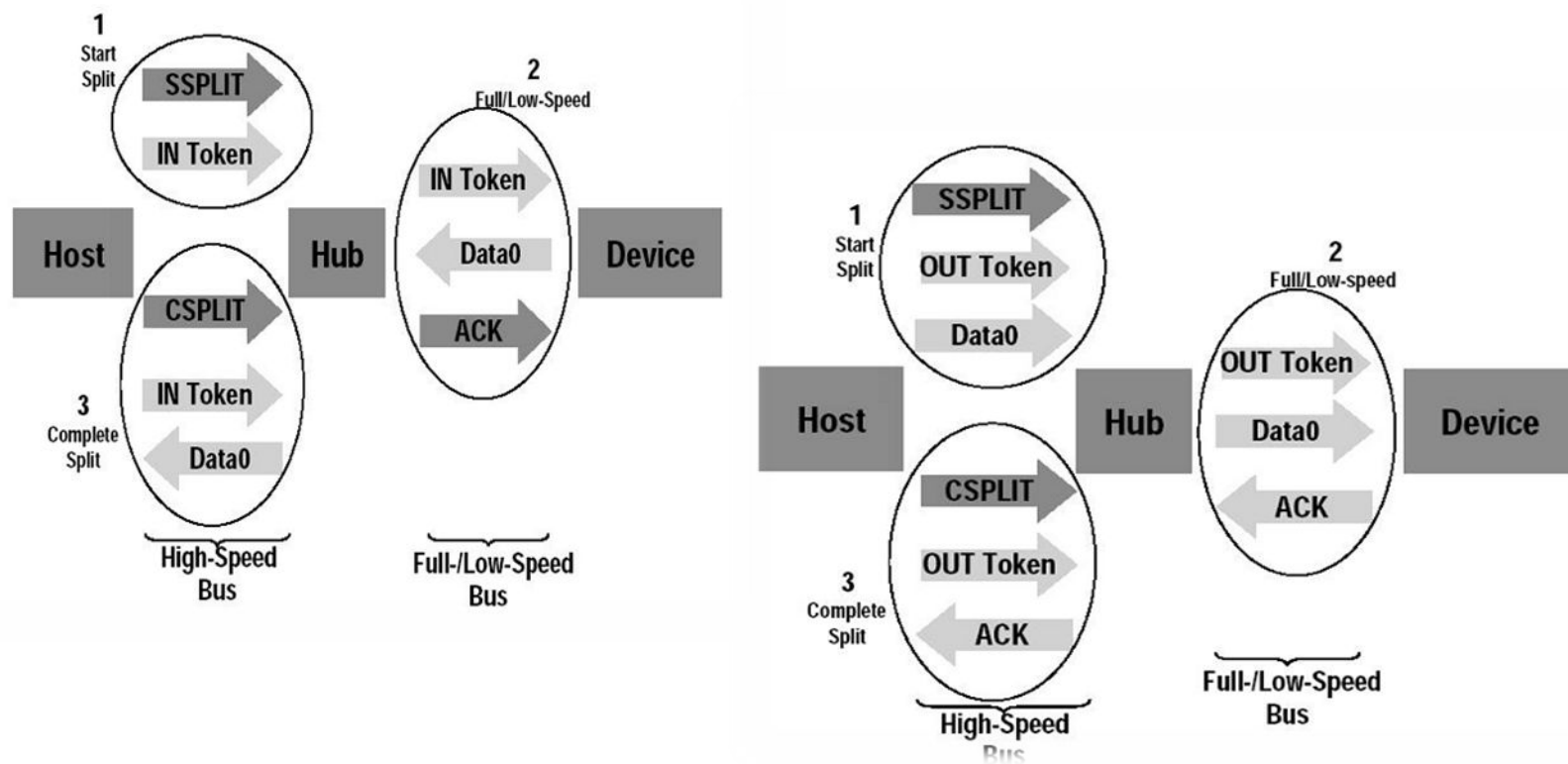


Канал-модель
передачи данных.
(потoki и сообщения)

При включении происходит конфигурирование устройства по каналу Control Pipe -0. Каждая конечная точка и имеет свой номер и описывается следующими параметрами:

- частота и задержки
- полоса пропускания
- требования обработки ошибок
- максимальный размер пакета
- тип передачи
- направление передачи(изохронная передача)

Split-транзакции в USB предназначены для использования между хостом и HUB устройствами. Транзакции этого типа используются в качестве вспомогательного механизма, когда устройства full-speed или low-speed подключены к HUB, работающему в режиме high-speed. Суть split-транзакции состоит в том, что запрос и ответ разделены во времени, тем самым оставляя возможность шине использовать свою пропускную способность между запросом и ответом для обслуживания других устройств (механизм split-транзакций



Interface	Format	Number of Devices (maximum)	Length (maximum, feet)	Speed (maximum, bits/sec.)	Typical Use
USB	asynchronous serial	127	16 (or up to 96 ft. with 5 hubs)	1.5M, 12M, 480M	Mouse, keyboard, disk drive, modem, audio
RS-232 (EIA/TIA-232)	asynchronous serial	2	50-100	20k (115k with some hardware)	Modem, mouse, instrumentation
RS-485 (TIA/EIA-485)	asynchronous serial	32 unit loads (up to 256 devices with some hardware)	4000	10M	Data acquisition and control systems
IrDA	asynchronous serial infrared	2	6	115k	Printers, hand-held computers
Microwire	synchronous serial	8	10	2M	Microcontroller communications
SPI	synchronous serial	8	10	2.1M	Microcontroller communications
I ² C	synchronous serial	40	18	3.4M	Microcontroller communications
IEEE-1394 (Fire Wire)	serial	64	15	400M (increasing to 3.2G with IEEE-1394b)	Video, mass storage
IEEE-488 (GPIB)	parallel	15	60	8M	Instrumentation
Ethernet	serial	1024	1600	10M/100M/1G	Networked PC
MIDI	serial current loop	2 (more with flow-through mode)	50	31.5k	Music, show control

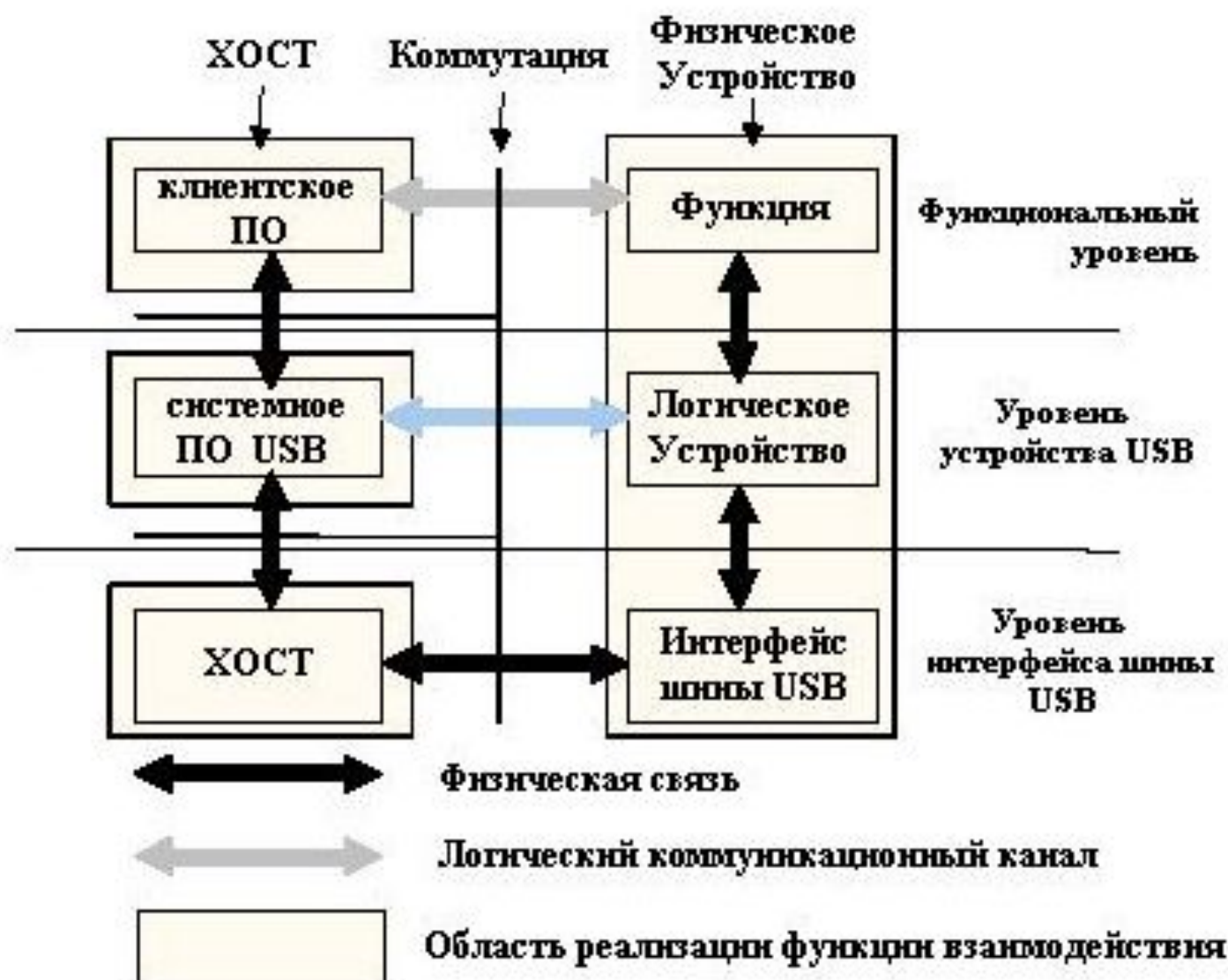
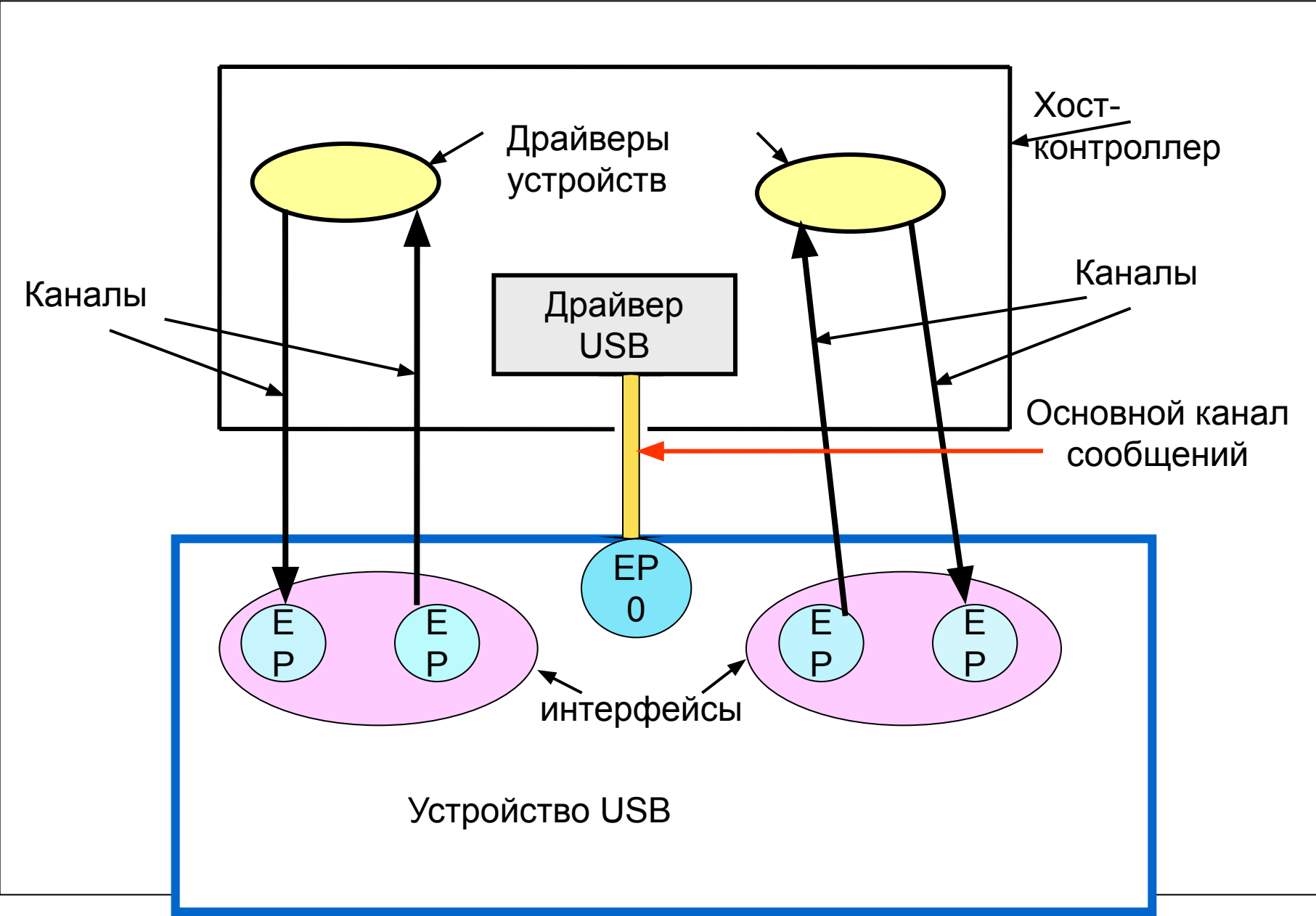


Рис. 3-2 Взаимодействие между хостом и функциональным устройством.

Структура модели



Кадры

Любой обмен по шине USB инициируется хост-контроллером. Он 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 передачи.

Каждый кадр начинается с посылки пакета-маркера SOF (Start Of Frame, начало кадра), который является синхронизирующим сигналом для всех устройств, включая хабы. В конце каждого кадра выделяется интервал времени EOF (End Of Frame, конец кадра), на время которого хабы запрещают передачу по направлению к контроллеру. Если хаб обнаружит, что с какого-то порта в это время ведется передача данных, этот порт отключается.

В режиме высокоскоростной передачи пакеты SOF передаются в начале каждого микрокадра (период $125 \pm 0,0625$ мкс).

Хост планирует загрузку кадров так, чтобы в них всегда находилось место для наиболее приоритетных передач, а свободное место кадров заполняется низкоприоритетными передачами больших объемов данных. Спецификация USB позволяет занимать под периодические транзакции (изохронные и прерывания) до 90% пропускной способности шины.

Каждый кадр имеет свой номер. Хост-контроллер оперирует 32-битным счетчиком, но в маркере SOF передает только младшие 11 бит. Номер кадра циклически увеличивается во время EOF

Для изохронной передачи важна синхронизация устройств и контроллера. Есть три варианта синхронизации:

- синхронизация внутреннего генератора устройства с маркерами SOF;
- подстройка частоты кадров под частоту устройства;
- согласование скорости передачи (приема) устройства с частотой кадров.

В каждом кадре может быть выполнено несколько транзакций, их допустимое число зависит от скорости, длины поля данных каждой из них, а также от задержек, вносимых кабелями, хабами и устройствами. Все транзакции кадров должны быть завершены до момента времени EOF. Частота генерации кадров может немного варьироваться с помощью специального регистра хост-контроллера, что позволяет подстраивать частоту для изохронных передач.

Подстройка частоты кадров контроллера возможна под частоту внутренней синхронизации только одного устройства.

Типы пакетов и их идентификаторы PID

Обозначение	Код PID	Источник	Описание
Идентификаторы маркер-пакетов (Token Packet)			
OUT	0001b	Хост	Маркер транзакции вывода, передает адрес и номер конечной точки при передаче от хоста к функции
IN	1001b		Маркер транзакции ввода, передает адрес и номер конечной точки при передаче от функции к хосту
SOF	0101b		Маркер начала кадра, содержит номер кадра
SETUP	1101b		Маркер транзакции управления: передает адрес и номер конечной точки при передаче команды от хоста к функции
Идентификаторы пакетов данных (Data Packet)			
Data0	0011b	Хост или уст-во	Пакеты данных с четным и нечетным PID, чередуются для точной идентификации подтверждений
Data1	1011b		Дополнительные типы пакетов данных, используемые в транзакциях с широкополосными изохронными точками (в USB 2.0 для HS)
Data2	0111b		
MData	1111b		
Идентификаторы пакетов-подтверждений (Handshake)			
ACK	0010b	Хост или уст-во	Подтверждение безошибочного приема пакета
NAK	1010b	Уст-во	Приемник не сумел принять или передатчик не сумел передать данные. Может использоваться для управления потоком данных ("ответ на запрос не готов"). В транзакциях прерываний является признаком отсутствия необслуживаемых прерываний
STALL	1110b	Уст-во	Произошел сбой в конечной точке или запрос не поддерживается, требуется вмешательство хоста
NYET	0110b	Уст-во	Подтверждение безошибочного приема, но указание на отсутствие места для приема следующего пакета максимального размера (USB 2.0)
Идентификаторы специальных пакетов (Special Packet)			
PRE	1100b	Хост	Специальный маркер, сообщающий, что следующий пакет будет передаваться в режиме LS (разрешает трансляцию данных на

Специальные пакеты (Special)

PRE	1100	Преамбула (маркер) передачи на низкой скорости (разрешает трансляцию данных на низкоскоростной порт хаба)
ERR	1100	Сигнализация ошибки в расщепленной транзакции (в USB 2.0)
SPLIT (SS и CS)	1000	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

Презентация подготовлена для курса
«Интерфейсы»
для направления «Приборостроение»

ИИТУ Политех

Цветков В.А.

2014 год