

Periferní zařízení:

Universal Serial Bus (USB)

Zdeněk Kotásek, Marcela Zachariášová

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií

Božetěchova 2, 612 66 Brno

kotasek@fit.vutbr.cz

zachariasova@fit.vutbr.cz



09.11.2016

- Průmyslový standard vyvíjen od r. 1996
- Definuje **spoje (kabel), konektory a komunikační protokoly** sběrnice pro účely **spojení, komunikace a napájení** mezi počítači a elektronickými (periferními) zařízeními.
- Dnes jej dále vyvíjí *USB Implementers Forum* (USB IF)



- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

- Klasický způsob připojování periferií je složitý:

PZ ⇔ adaptér PZ v konektoru systémové sběrnice

- » Narůstající počet PZ, potřeba dalších konektorů a adaptérů.
- » Složitá softwarová konfigurace PZ (přidělení adresy, její vložení do konfiguračních registrů, přidělení adresového prostoru).
- Rostoucí potřeba napájet PZ.
- Rostoucí potřeba přenášet více dat a vyšší rychlostí.

1. **Jednoduché rozhraní** – nenáročné pro uživatele, snadná realizace připojení nového PZ.
2. **Připojení různých typů PZ** (myš, klávesnice, disk, chytré telefony, kamery, tiskárny, síťové adaptéry, atd.) **za běhu počítače**.
3. **Zajištění napájení** (až do 20 V/5 A, Type-C konektor).
4. **Možné připojit až 127 zařízení**.
5. **Vysoká rychlost přenosu dat** (10 Gbit/s, USB 3.1).
6. Lze sdružovat více logických zařízení do jednoho fyzického zařízení.
7. Nízká zátěž sběrnice samotným komunikačním protokolem (**nenáročný komunikační protokol**).
8. Možnost pracovat souběžně s více zařízeními připojenými ke sběrnici - podmíněno schopností PZ provádět periferní operace autonomně.
9. Přenos synchronních i asynchronních dat přes stejné médium.

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

- **USB 1.0** (Jan. 1996) – definuje rychlost přenosu dat 1.5 Mbit/s (*Low Speed*) pro nízko-rychlostní zařízení, např. myš, klávesnici, joystick a 12 Mbit/s (*Full Speed*) pro vysoko-rychlostní zařízení, např. disky. První rozšířená verze je USB 1.1.
- **USB 2.0** (Apr. 2000) – vývoj spadá již pod USB-IF. HP, Intel, Lucent Technologies a Philips iniciují vývoj vyšší přenosové rychlosti dat až na 480 Mbit/s (*High Speed*).
- **USB 3.0** (Nov. 2008) – opět potřeba vyšší přenosové rychlosti dat až na 5 Gbit/s (*Superspeed*), snížení spotřeby, zvýšení napájecí kapacity a zpětné kompatibility. První zařízení v Jan. 2010.

- **USB 3.1** (July 2013) – přenosová rychlost 10 Gbit/s (*Superspeed+*), redukce kódovací režie na 3% využitím nového typu kódování 128b/132b.
- **USB Type-C** (Aug. 2014) – představení USB Power Delivery 2.0 (20V/5A) a USB Type-C konektoru = první oboustranný USB konektor.

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

1. Podle rychlosti připojovaného zařízení

Mode	Gross data rate	Introduced in
Low Speed	1.5 Mbit/s	USB 1.0
Full Speed	12 Mbit/s	USB 1.0
High Speed Also, Hi-Speed	480 Mbit/s	USB 2.0
SuperSpeed	5 Gbit/s	USB 3.0
SuperSpeed+	10 Gbit/s	USB 3.1

2. Podle funkce v USB topologii

- USB hostitel (USB Host)
- USB koncové zařízení (USB Function / USB Device)
- USB rozbočovač (USB Hub)

Přes tuto komponentu přistupuje operační systém k jednotlivým zařízením připojeným k USB sběrnici (proto každý hostitelský počítač, ke kterému chceme připojit nějaké USB zařízení, **musí obsahovat USB hostitele**).

USB hostitel může implementovat více tzv. **hostitelských řadičů (host controller)** a každý řadič může poskytovat jeden a více USB portů.

K jednomu host. řadiči je možné připojit až **127** zařízení.

Alternativa 1: v celém USB systému se vyskytuje pouze jeden hostitel (host kontrolér).

Alternativa 2: více USB kontrolér \Rightarrow v tomto případě se jedná o nezávislé USB sběrnice.

Zařízení, která se k dané sběrnici připojují a poskytují tak systému (hostiteli) nějaké své prostředky.

- **Device** je chápáno jako zařízení, které neposkytuje konkrétní služby, ale pouze rozšiřuje služby sběrnice (např. rozbočovače).
- **Function** je chápáno jako zařízení, které poskytuje nějaké konkrétní služby (např. myš, klávesnice, tiskárna).

Všechna tato zařízení musí být schopna komunikovat po sběrnici USB podle pravidel, která určuje norma (přenos dat, konfigurace apod.)

Může se nacházet v maximálně 6. úrovni (tier).

Rozbočovač v hostitelském řadiči se označuje jako **Root Hub (kořenový rozbočovač)**. Veškerá komunikace s koncovými zařízeními se odehrává přes něj, **přímá komunikace mezi zařízeními není možná!**

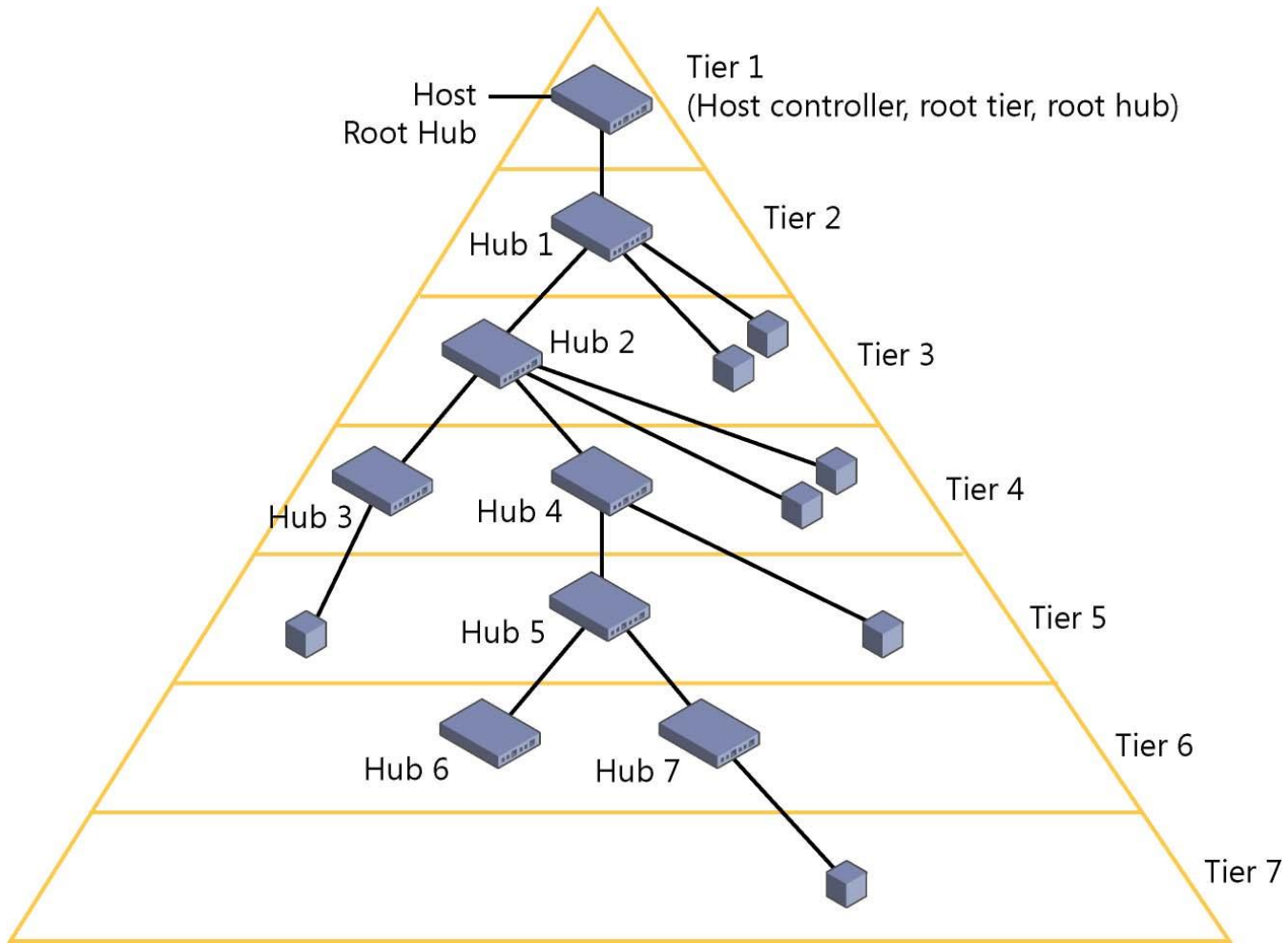
Každý rozbočovač umožňuje rozvětvení do stromové struktury - připojuje se jako běžné zařízení, čímž obsadí jeden port, ale zároveň vytvoří několik dalších.

Všechny takto vytvořené **porty jsou plnohodnotné** bez jakýchkoli omezení.

Kombinované zařízení (angl. *Compound Device*) je zařízení, která v sobě sdružují rozbočovač a jedno nebo více dalších zařízení.

Typickým příkladem může být kombinace tiskárny, skeneru a faxu v jednom zařízení.

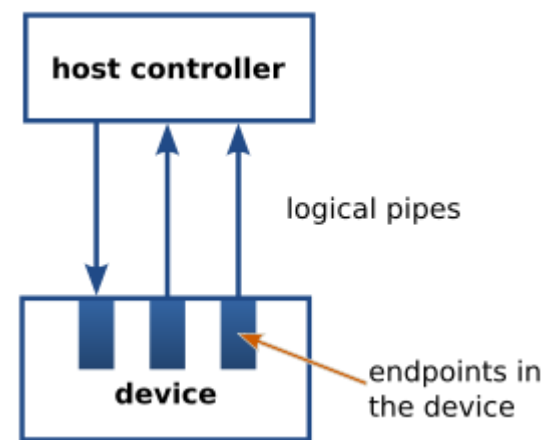
Může se nacházet v maximálně 6. úrovni (tier).



Celý systém je pak možné vidět jako množinu **rour** (*pipe*) začínající v kořenovém rozbočovači a končící v zařízení (na konkrétním *koncovém bodu* - *endpointu*).

Pod pojmem roura je také rozuměno propojení mezi zařízením a jeho ovladačem na straně počítače.

Zařízení může mít až 32 *endpointů* (16 IN, 16 OUT), každý *endpoint* má přiřazeno unikátní číslo v procesu inicializace a je relativně permanentní. Roury je ale možné otevírat a zavírat.



Rozlišujeme dva typy rour:

- *Message pipe* = je obousměrná roura pro **kontrolní (řídící) přenosy** (konfigurace zařízení).
- *Stream pipe* = je jednosměrná roura pro přenos dat využitím izochronních, přerušovaných anebo nárazových přenosů:
 - **Izochronní přenos** (*isochronous*) – garantovaná přenosová rychlost ale možná ztráta dat (**audio**, video zařízení).
 - **Přerušovaný přenos** (*interrupt*) – garantované rychlé odpovědi na asynchronní události (**klávesnice**, myš).
 - **Nárazový přenos** (*bulk*) – velké datové přenosy s maximální možnou šířkou přenosu, bez garance rychlé odpovědi ale bez ztráty dat (přenosy dat z **disků**).

* příklady v poznámce

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

1. Všechna USB zařízení jsou ke sběrnici zapojena přes rozbočovače. Rozbočovače mají status bity, které sledují připojování a odpojování USB zařízení na jednotlivých portech.
2. Kořenový rozbočovač tyto informace sbírá a tak rozpozná připojení nového zařízení – tento fakt přeruší činnost operačního systému (opakovaně testuje, zda bylo připojeno nějaké zařízení, např. pollingem).
3. USB hostitel povolí dotyčný port a komunikuje s daným USB zařízením prostřednictvím řídicí roury na defaultní adrese 0.
4. USB Hostitel **přiřadí novému zařízení unikátní adresu** (1 – 127) a zjistí, zda jde o hub nebo koncové zařízení a jakou šířku pásma bude potřebovat.
5. Následně vytvoří řídicí rouru pro toto USB za řízení a nasměruje ji na přiřazenou adresu a **endpoint číslo 0** + provede konfiguraci.
6. O připojení a inicializaci zařízení je informován hostitelský software, odpovídající danému zařízení (ovladač).

Jak už bylo zmíněno, USB koncové zařízení má unikátní 7 bitovou adresu (1-127) a může mít až 32 koncových bodů (*endpointů*) - 16 IN, 16 OUT, přičemž každý koncový bod má přiřazeno unikátní číslo v procesu inicializace (4 bity).

Adresa koncového zařízení je lokální ve stromu USB a nemá žádný vztah k adrese, s níž se pracuje na systémové sběrnici počítače.

Komunikační roura začíná v kořenovém rozbočovači a končí v zařízení na konkrétním koncovém bodu.

Adresace proto probíhá na základě dvojice: (**device address, endpoint number**).

Každé zařizení si nese své identifikační údaje a nastavení, které jsou použity při prohledávání sběrnice, zjišťování nových zařizení a jejich následné konfiguraci. Tyto identifikační údaje jsou rozděleny do tří skupin.

- **Povinné (Standard)** – do této kategorie patří identifikace výrobce, třída, do které zařizení patří, možnosti úspory energie, informace o zařizení, konfiguraci a počtu koncových bodů.
- **Volitelné (Class)** – bližší specifikace zařizení pro konkrétní třídu, do které patří.
- **Informace o výrobcí (USB Vendor)** – zde může uložit výrobce jakékoli informace, formát dat nepodléhá konkrétnímu standardu.

Každé zařizení je na sběrnici jednoznačně identifikovatelné pomocí čísla, které získá při počáteční konfiguraci.

Zařízení je možné připojit nebo odpojit v jakýkoliv okamžik
⇒ systém a příslušné klientské programy musí být schopny ošetřit všechny možné situace, které mohou nastat.

Po odpojení USB hostitel vymaže zařízení ze svých tabulek a uvolní prostředky, které byly použity.

Pokud je odpojen rozbočovač, jsou odpojena všechna zařízení, která jsou přes tento rozbočovač připojena.

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- **Komunikační protokol**
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

V průběhu USB komunikace jsou data přenášena jako pakety:

- Pakety řídicí (*token packets*).
- Pakety datové (*data packets*).

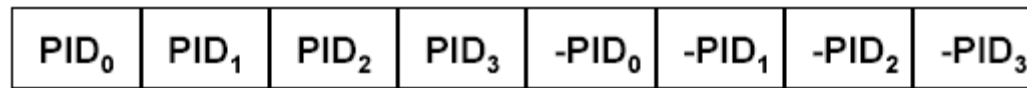
Všechny přenosy iniciuje hostitel skrze kořenový rozbočovač a případně další rozbočovače až ke koncovým zařízením. Ty mohou pak odpovědět.

Flexibilita USB:

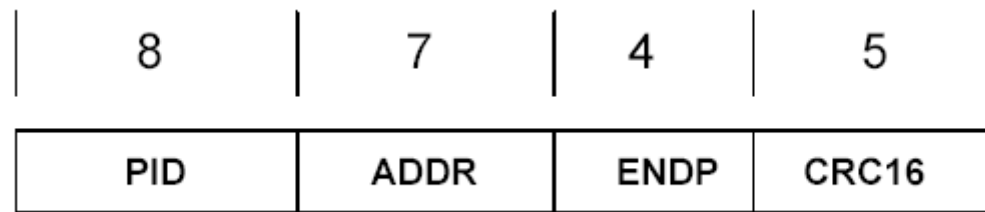
- Velký rozsah velikosti paketů používaných ke komunikaci.
- Velký rozsah rychlosti datových přenosů.
- Podpora pro detekci chyb v samotném protokolu a následné zotavení.
- Automatické připojování, odpojování a rozpoznávání zařízení.

Identifikátor paketu (*packet identifier* - PID) – 4 bity
paketu = 16 typů paketů.

PID obsahuje 4 bity, jsou vysílány 2x (přímá hodnota, pak negovaná) – možnost kontroly správného příjmu PID.



Řídicí pakety (token pakety) slouží pro adresování zařízení (před zahájením datového přenosu), potvrzení příjmu dat (bezchybného), indikace chyby.



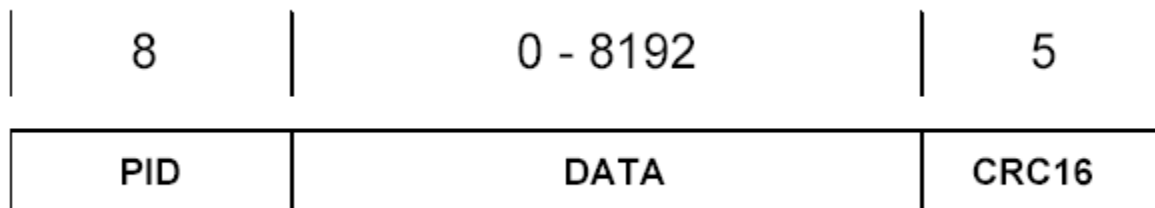
Některé sestávají pouze ze slabiky PID.

ADDR – adresa zařízení

ENDP – číslo koncového bodu

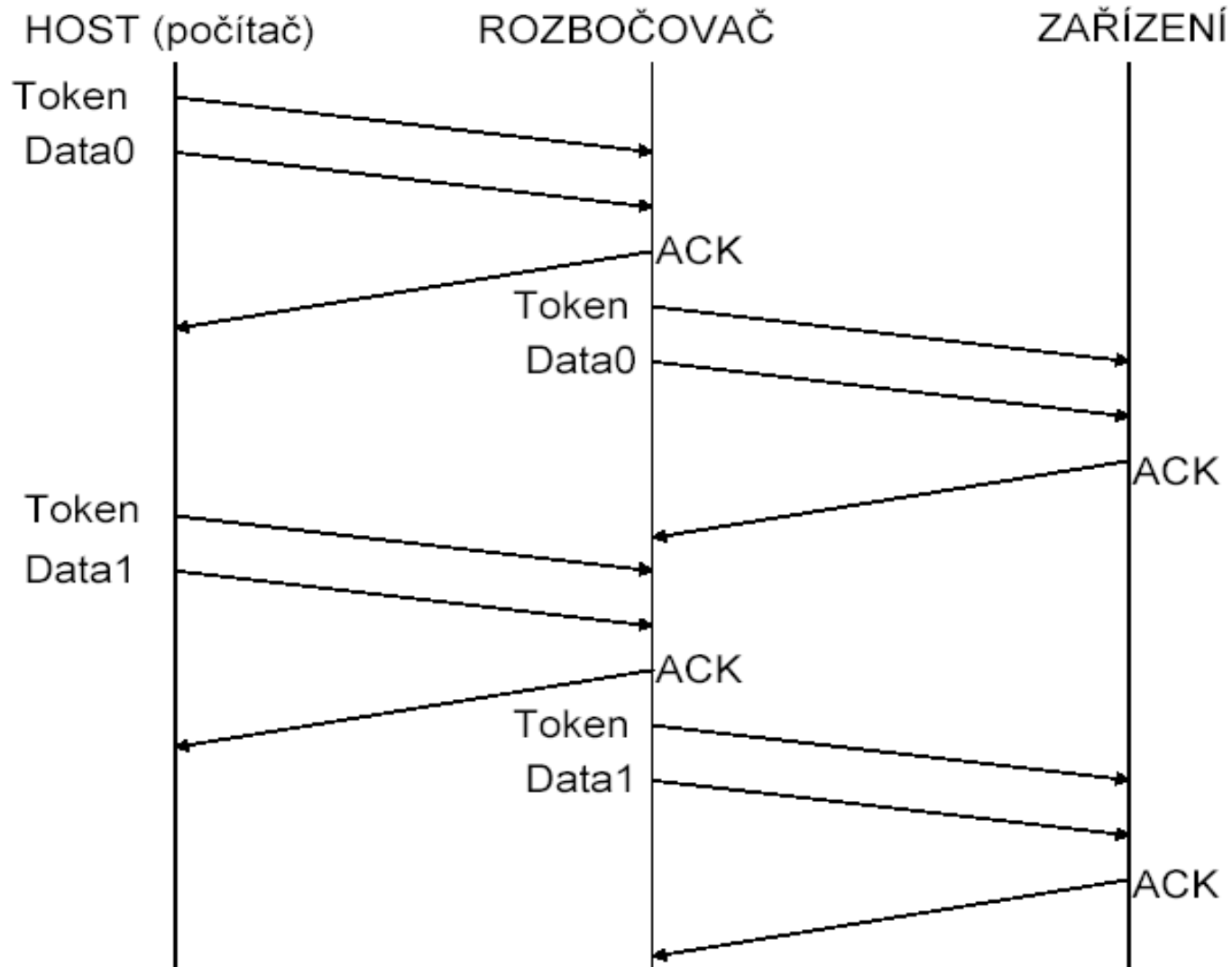
CRC – *Cyclic Redundancy Check* (cyklická kontrola), počítá se z polí ADDR a ENDP. Vysílací strana: z obou polí se vytváří kontrolní informace CRC, pak se odešle příjemací straně. Příjemací strana: přijímá data a zároveň průběžně počítá CRC, pak srovná vypočtenou CRC s přijatou CRC.

Datové pakety nesou data (vstupní i výstupní).



Datový paket nenesou adresu zařízení ani koncového bodu. Není to třeba, protože komunikace byla již ustavena.

3 typy PID – 0, 1 a 2 (pakety jsou číslovány 0, 1, 2).



1. Počítač pošle do rozbočovače řídicí paket (token) typu OUT.
2. Za ním vyšle datový paket Data0.
3. Rozbočovač ověří, že přenos proběhl bez chyb (kontrolou CRC) a odpoví do počítače paketem ACK.
4. Rozbočovač pošle paket „token“ (řízení) a data do zařízení, která jsou na něj napojena.
5. Všechna zařízení dostanou „token“, data přijme pouze to zařízení, které rozpozná svou adresu.
6. Zařízení ověří, že nevznikla chyba a pošle do rozbočovače paket ACK.

1. Počítač pošle do rozbočovače paket token typu IN.
2. Pro zařízení je to výzva, aby poslal data.
3. Zařízení pošle data a za nimi token ACK.
4. Pokud data nemá, tak pošle token NACK.

Řešení situace, kdy se prokládají rychlosti LS/FS s rychlostí HS:

před paketem IN/OUT se posílá speciální paket, jímž se zahajuje tzv. „split-traffic mode“

Kontrola ztráty paketu

Pakety jsou číslovány – je to číslo v PID.

Po paketu 0 musí přijít paket 1 – pokud ne, je to **chyba**.

Kontrola ztráty paketu spočívá v kontrole správné posloupnosti paketů. Pokud není dodržena, znamená to **ztrátu paketu**.

Jsou potřebné v situacích jako je např. přenos zvuku po vzorkování a převedení na číslicovou formu.

Taková zařízení potřebují pravidelnou synchronizaci (v podobě paketu řízení), jímž se stanoví okamžik vzorkování.

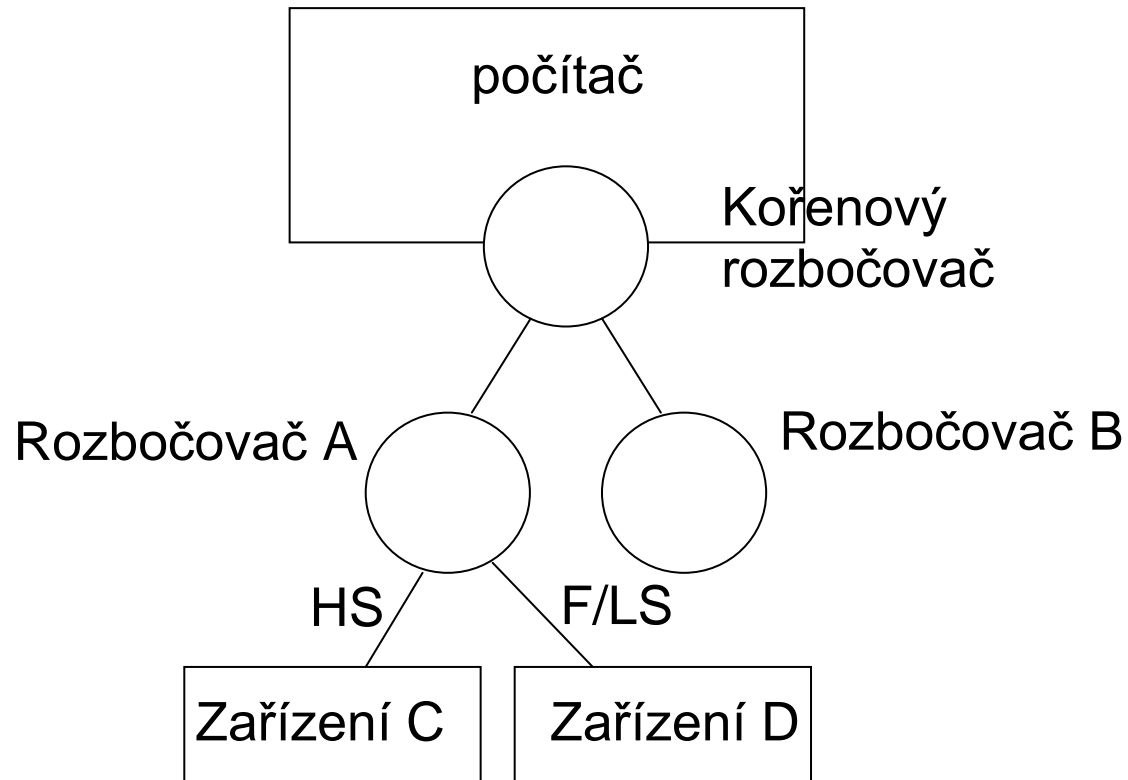
Řešení v USB: přenosy jsou rozděleny na rámce (frame) stejné délky 1 ms. Každou 1 ms je generován paket SOF (Start of Frame).

Tolerují se náhodné chyby - nepoužívá se paket ACK – když se paket ztratí, nevzniká problém – dojde ke zkreslení zvuku.

Veškerá komunikace a přenosy dat s daným zařízením probíhají pomocí **rou** (def. 18).

Zopakování: rozlišují se tyto typy toků dat:

- **Řídicí (Control Transfers)** – tento typ se používá při konfiguraci zařízení, zejména po připojení.
- **Nárazové (Bulk Transfers)** – požadavky na přenos dat přicházejí nepravidelně a většinou se jedná o velké množství dat. Nejedná se o časově kritické operace. Využívá se zbývající maximální možná kapacita sběrnice.
- **Přerušované (Interrupt Transfers)** – Data musí být přenesena do nějaké určité doby od vzniku požadavku a s minimální garantovanou rychlostí přenosu.
- **Izochronní (Isochronous Transfers)** – Používá se pro přenos souvislých dat, která jsou generována v reálném čase, musí být v reálném čase přenesena a také zpracována. Při použití tohoto typu přenosu se vyhradí část přenosové kapacity. Při tomto typu přenosu se chyby neopravují.



Stromová architektura – je možné připojit velké množství zařízení (podobná stromová architektura je nerealizovatelná paralelním spojem).

Princip „**polling**“ uplatněný v USB:

- **Veškerá komunikace se odehrává na základě výzvy od hostitele**, tzn. zařízení může poslat zprávu hostiteli pouze tehdy, pokud je k tomu vyzváno.
- Důsledek: při přenosech směrem do počítače nedochází ke konfliktům, protože hostitel „neosloví“ současně více zařízení. Toto platí pro zařízení, která pracují na rychlostech LS (Low Speed) nebo FS (Full Speed).
- Změna v souvislosti se zařízeními HS (High Speed) – verze 2.0. Snaha o to, aby rychlost zařízení HS byla využita v prodlevách činnosti zařízení LS nebo FS (prodlevy vzniklé pomalejší činností těchto zařízení).

Demonstrace na obrázku:

Komunikace se zařízením D (LS) – i krátká zpráva může trvat desítky mikrosekund, po celou dobu komunikace je zařízení C zablokováno.

Důsledek: spoj s rozbočovače A do počítače je využíván neefektivně pro zařízení C, které je schopné komunikovat na vyšší rychlosti.

Řešení: mezi rozbočovačem A a počítačem se budou data přenášet zásadně rychlostí HS, mezi rozbočovačem A a zařízením D pak rychlostí LS. Data pro zařízení D se uloží do rozbočovače A (rychlostí HS), pak budou přenášena do zařízení D (rychlostí LS). Vznikají prodlevy (po dobu přenosu mezi rozbočovačem A a zařízením D), ty se využijí na realizaci přenosů dat mezi počítačem a zařízením C.

Výsledek: lepší využití přenosové rychlosti spoje mezi počítačem a rozbočovačem A.

Norma USB: mezi rozbočovači se data přenášejí zásadně rychlostí HS, byť koncovým zařízením je zařízení LS (potřeba vyrovnávací paměti).

USB OTG řeší problém realizace propojení dvou periferních zařízení (bez PC).

Komunikační protokoly

- USB OTG zavádí dva nové protokoly: **SRP** (*Session Request Protocol*) a **HNP** (*Host Negotiation Protocol*).
- Protokol SRP – obě komunikující zařízení mohou řídit druhé zařízení – rozdíl proti klasickému USB, kde tuto možnost měl pouze počítač.
- Protokol HNP – obě zařízení si mohou vyměnit roli master/slave.

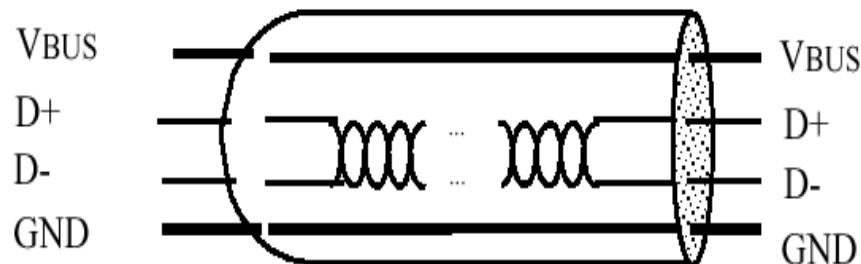
Větší počet vodičů v kabelu → mezi řadičem a připojeným zařízením **je možné komunikovat pomocí většího počtu rour** (mnoho rour vznikne, když dochází ke konfiguraci zařízení systémovým software, nicméně jedna roura pro přenos zpráv existuje vždy a vznikne tehdy, když se zařízení připojí a slouží k jeho ovládnání).

Roury podporují všechny 4 typy datových přenosů definovaných pro USB 2.0.

Zpětná kompatibilita s verzí 2.0, takže existující zařízení pro USB budou fungovat i s novými deskami s USB 3.0.

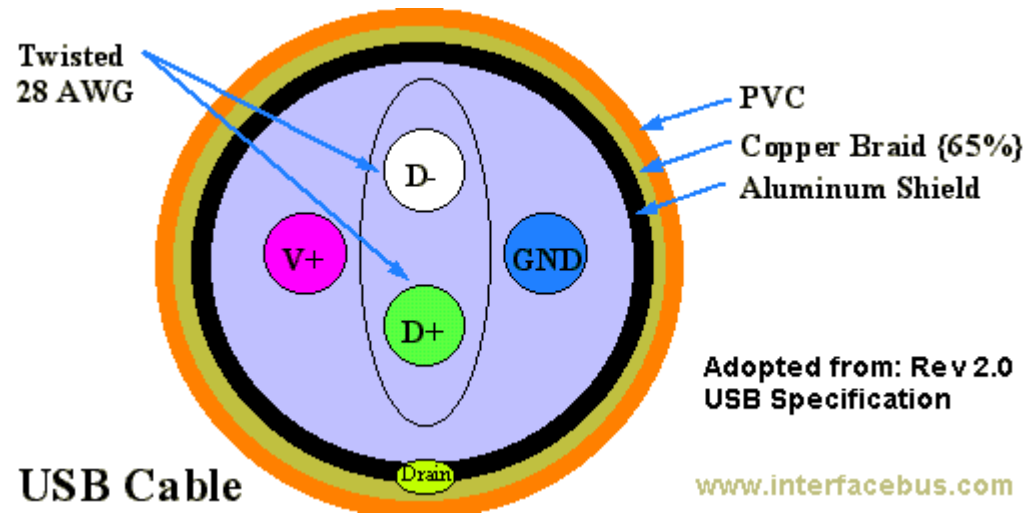
- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

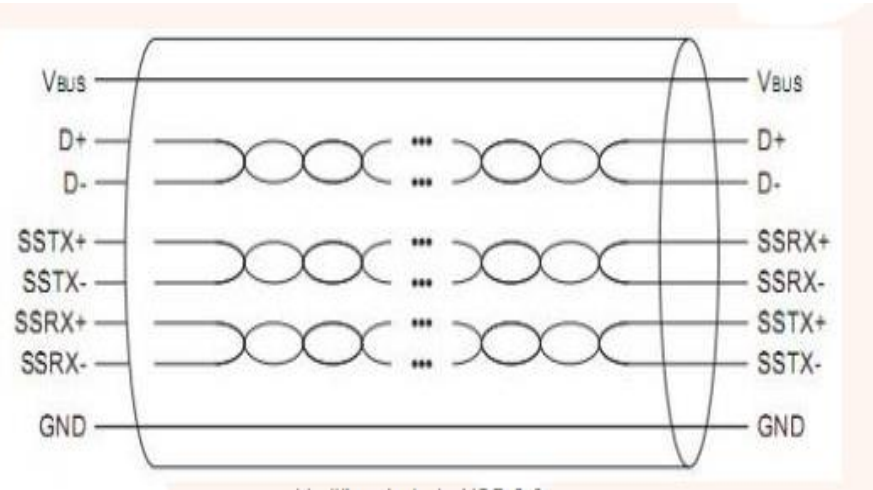
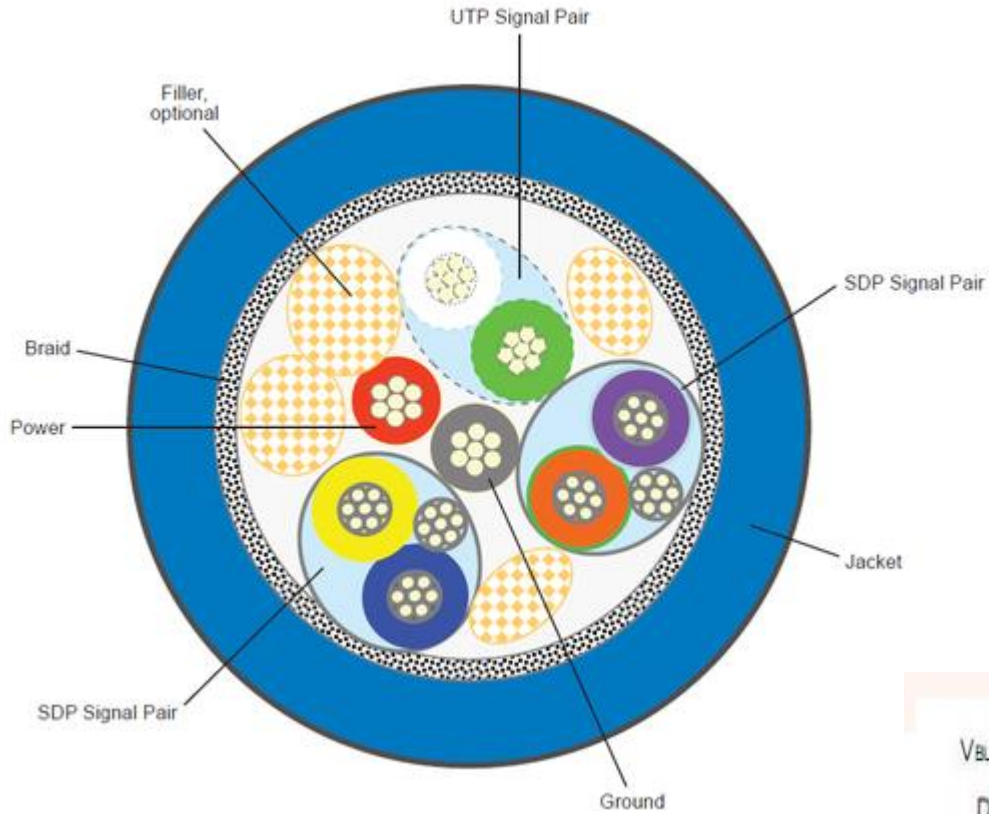
USB používá 4 chráněné vodiče, dva pro napájení (VBUS a GND) a dva kroucené pro diferenciální datové signály (D+ a D-).

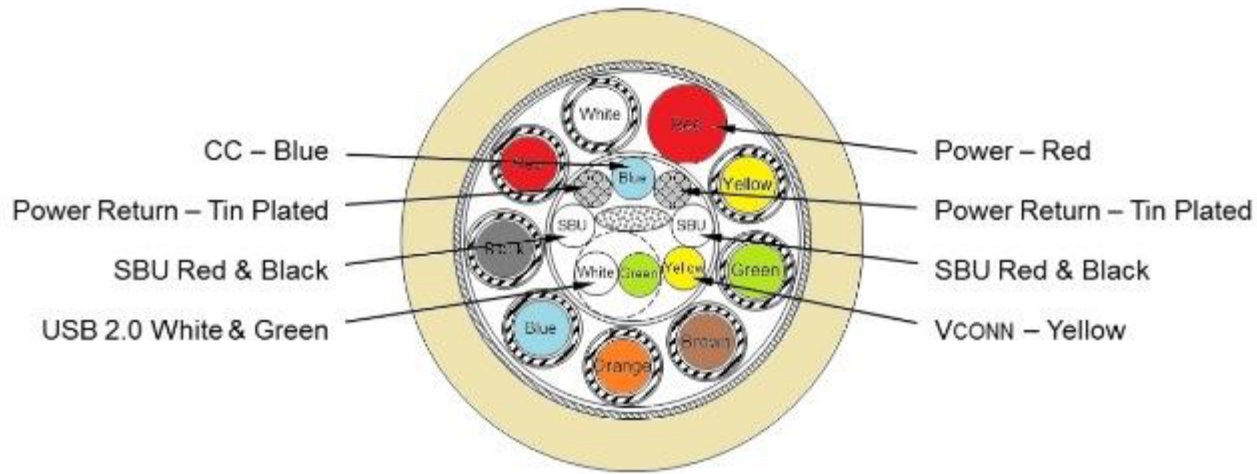


- Low- a full-speed módy (USB 1.0) používají jeden datový pár (D+ a D-) half-duplex. Přenášené signální úrovně jsou 0.0–0.3 V pro logickou nulu, a 2.8–3.6 V pro logickou jedničku.
- High-speed módy (USB 2.0) používají ten samý datový pár (D+ a D-), ale s jinými elektrickými konvencemi. Nižší signální úrovně –10 – 10 mV pro logickou nulu a vyšší 360 – 440 mV pro logickou jedničku.

- SuperSpeed (USB 3.0) přidává dva páry kroucených vodičů a rozšířené konektory pro full-duplex SuperSpeed operace. Half-duplex linky se používají na konfiguraci. Změna kódování na 8b/10b.
- Type-C (USB Type-C) obsahuje 4 páry vodičů pro napájení, 2 diferenční páry pro USB 2.0 datové přenosy, 4 páry pro SuperSpeed datové přenosy, 2 sideband signálové vodiče, 2 konfigurační vodiče pro detekci orientace kabelu.





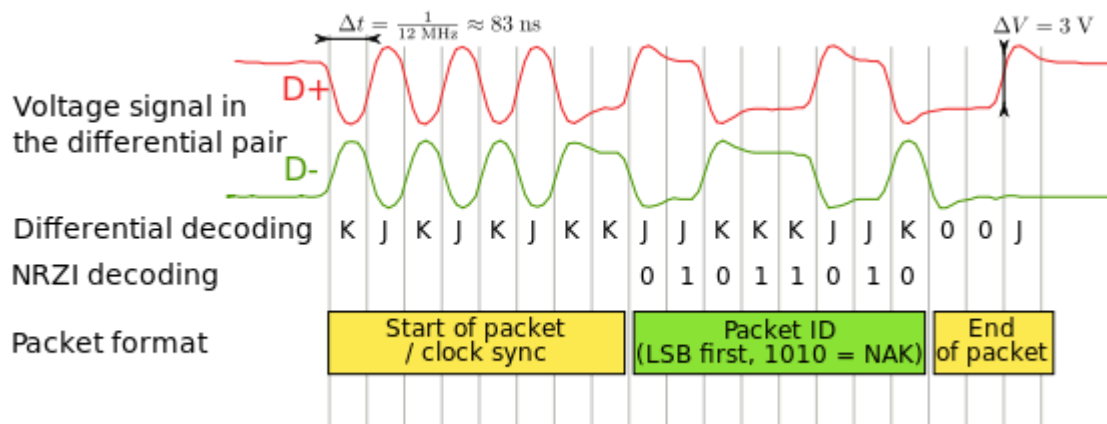


OD = 4.8mm

Coax are SS pairs – specific pairs not defined in cable

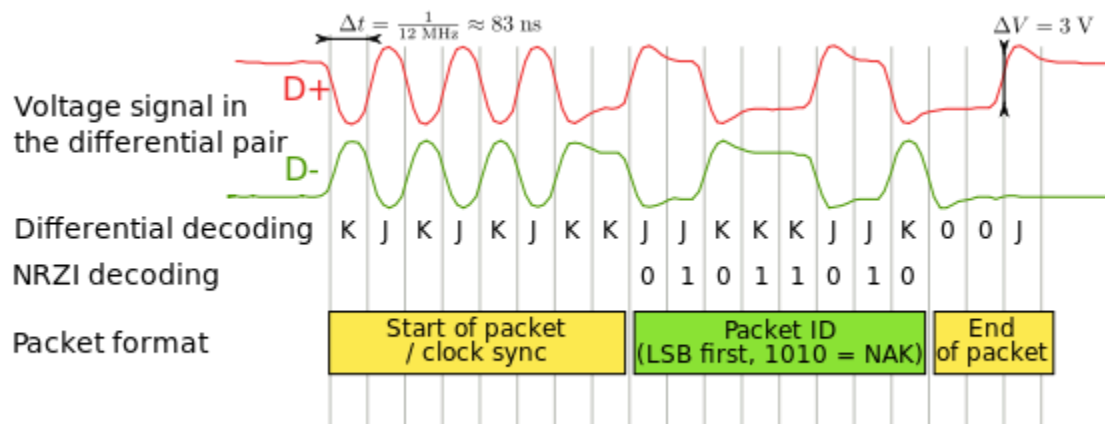
Diferenciální dekódování:

- Stav J (datová linka D+ v 1) a K (datová linka D- v 1)



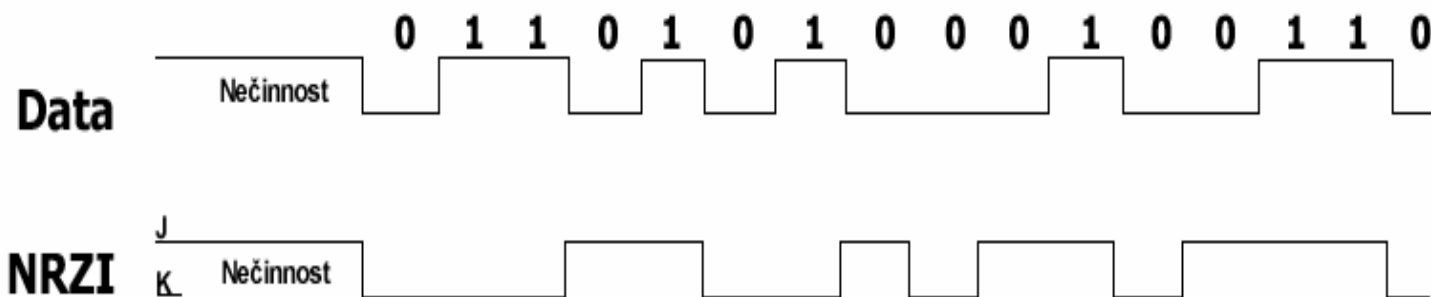
USB data jsou přenášena změnami mezi stavy J a K přičemž se využívá kódování **NRZI**:

- Přenos 0 = změna z J do K anebo naopak.
- Přenos 1 = J následuje po J, K následuje po K.



Každý paket začíná 8-bitovou synchronizační sekvencí (pro synchronizaci hodin odesílatele a příjemce): 00000001 (KJKJKJJK). Pro USB s vyšší šířkou pásma se používá 32 bitová synchronizační sekvence.

Následuje Packet ID, 11 bitová adresa + 5 bitové CRC (jen v token paketech), 0-1024 B data + 16 bitové CRC (jen v datových paketech), a konec paketu (00J).



Data jsou vysílána sériově. Pokud však nedojde po delší dobu ke změně signálu, mohlo by dojít k rozsynchronizování hodin vysílače a přijímače. To by se mohlo stát v případě, kdy by se vysílaly za sebou samé 1, protože ty nemění výstupní signál.

Bit stuffing = extra 0 je vložena do datového toku, pokud se objeví šest 1 za sebou. Na straně přijímače se následně odstraní.

USB PID bytes

Type	PID value (msb-first)	Transmitted byte (lsb-first)	Name	Description
Reserved	0000	0000 1111		
Token	1000	0001 1110	SPLIT	High-bandwidth (USB 2.0) split transaction
	0100	0010 1101	PING	Check if endpoint can accept data (USB 2.0)
Special	1100	0011 1100	PRE	Low-bandwidth USB preamble
			ERR	Split transaction error (USB 2.0)
Handshake	0010	0100 1011	ACK	Data packet accepted
	1010	0101 1010	NAK	Data packet not accepted; please retransmit
	0110	0110 1001	NYET	Data not ready yet (USB 2.0)
	1110	0111 1000	STALL	Transfer impossible; do error recovery
Token	0001	1000 0111	OUT	Address for host-to-device transfer
	1001	1001 0110	IN	Address for device-to-host transfer
	0101	1010 0101	SOF	Start of frame marker (sent each ms)
	1101	1011 0100	SETUP	Address for host-to-device control transfer
Data	0011	1100 0011	DATA0	Even-numbered data packet
	1011	1101 0010	DATA1	Odd-numbered data packet
	0111	1110 0001	DATA2	Data packet for high-bandwidth isochronous transfer (USB 2.0)
	1111	1111 0000	MDATA	Data packet for high-bandwidth isochronous transfer (USB 2.0)

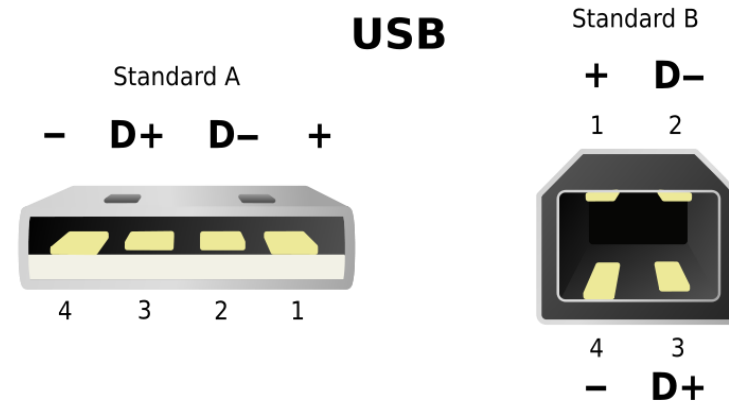
- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- **Typy konektorů**
- Napájení
- Shrnutí

- Konektor zabudovaný v hostiteli anebo v zařízení se označuje jako zásuvka (*receptacle, female*).
- Konektor připojený na kabel se označuje jako zástrčka (*plug, male*).



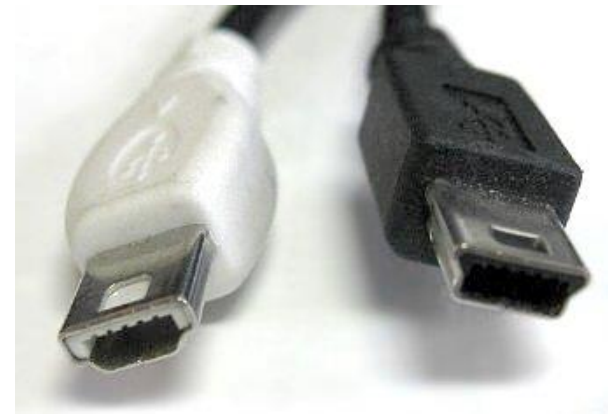
USB 1.0: standardní konektory type-A a type-B (4 piny):

- **Type-A zástrčka** (obdélníkový tvar) se vkládá do **type-A zásuvky** umístěné na *downstream* portu USB hostitele anebo USB hubu. Myš a klávesnice typicky končí type-A zástrčkou.
- **Type-B zástrčka** (čtvercový tvar) se vkládá do **type-B zásuvky** umístěné na *upstream* portu USB zařízení. Tiskárna reprezentuje takové zařízení.



USB 2.0: konektory mini a micro (4 piny):

- **Mini konektory** již nejsou oficiálně podporovány, nahrazují se mikro konektory.
- **Mikro konektory** – tenčí, odolnější vůči opotřebování. Byly definovány Micro-A zástrčky, Micro-AB zásuvky a Micro-B zástrčky and zásuvky.



USB On-The-Go (OTG) (5 pinů): všechna zařízení OTG mohou mít jen jednu Micro-AB zásuvku. Zástrčky se rozlišují podle přidaného ID pinu a podle toho, kam se připojí, se rozlišuje A zařízení (hostitel) a B zařízení (periferie).

USB 3.0 Superspeed (9 pinů):
nový standard pro Micro-A
a Mikro-B konektory.
Kompatibilita s USB 2.0
Micro-B zástrčkami.



USB Type-C: oboustranný konektor (24 pinů).



USB connectors mating matrix (images not to scale)

↓ Receptacle	Plug									
	 Type A	 Type A SuperSpeed	 Type B	 Type B SuperSpeed	 Mini-A	 Mini-B	 Micro-A	 Micro-B	 Micro-B SuperSpeed	 Type-C
 Type A	Yes	Only non-SuperSpeed	No	No	No	No	No	No	No	No
 Type-A SuperSpeed	Only non-SuperSpeed	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No
 Type B	No	No	Yes	No	No	No	No	No	No	No
 Type-B SuperSpeed	No	No	Only non-SuperSpeed	Yes	No	No	No	No	No	No
 Mini-A	No	No	No	No	Deprecated	No	No	No	No	No
 Mini-AB	No	No	No	No	Deprecated	Deprecated	No	No	No	No
 Mini-B	No	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No
 Micro-AB	No	No	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No
 Micro-B	No	No	No	No	No	No	No	Yes	No	No
 Micro-B SuperSpeed	No	No	No	No	No	No	No	Only non-SuperSpeed	Yes	No
 Type-C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Yes

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- **Napájení**
- Shrnutí

Proud, který můžeme ze sběrnice odebírat je omezen, označuje se pojmem *unit load*, *UL* (100 mA, 150 mA pro SuperSpeed zařízení).

Podle způsobu napájení rozlišujeme dvě skupiny zařízení:

- Zařízení napájená pouze ze sběrnice (Bus-Powered)
- Zařízení, která mají ještě svůj vlastní zdroj (Self-Powered).

Podle toho, kolik UL odebírají, rozlišujeme dvě skupiny zařízení:

- Low-power zařízení, které odebírají maximálně 1 UL.
- High-power zařízení, které odebírají minimálně 1 UL a maximálně 5-6 UL. Počas konfigurace, všechny high-power zařízení mohou odebírat maximálně 1 UL (chovají se jako Low-power zařízení).

Napájení je poskytováno jen upstream zařízeními a konzumováno jen downstream zařízeními.

USB power standards

Specification	Current	Voltage	Power
Low-power device	100 mA	5 V	0.50 W
Low-power SuperSpeed device	150 mA	5 V	0.75 W
High-power device	500 mA ^[a]	5 V	2.5 W
High-power SuperSpeed device	900 mA ^[b]	5 V	4.5 W
Battery Charging (BC) 1.2	5 A	5 V	25 W
Type-C ^[c]	1.5 A	5 V	7.5 W
	3 A	5 V	15 W
Power Delivery micro-format ^[c]	3 A	20 V	60 W
Power Delivery standard format or Type-C ^{[d][c]}	5 A	20 V	100 W

a. ^ Up to five unit loads; with non-SuperSpeed devices, one unit load is 100 mA.
b. ^ Up to six unit loads; with SuperSpeed devices, one unit load is 150 mA.
c. ^ a b c Either SuperSpeed or non-SuperSpeed.
d. ^ Requires PD 5 A cable.

- Důvody pro zavedení USB
- Historie USB
- Klasifikace USB zařízení
 - Podle rychlosti připojovaného zařízení
 - Podle funkce v USB topologii
- Konfigurace nového zařízení, adresace, odpojení
- Komunikační protokol
- USB signály a typy kabelů
- Typy konektorů
- Napájení
- Shrnutí

- Jde o **dotazovací sběrnici** (v USB nejsou prostředky pro generování žádosti o přerušeni ani žádosti o DMA, ta je až na úrovni zařízení připojeného do sys. sběrnice).
- **Veškeré datové přenosy jsou vždy inicializovány hostitelem** - v naplánovaných intervalech jsou posílány pakety (*Token Packet*), které obsahují typ operace, směr operace, adresu zařízení a číslo koncového bodu zařízení (*EndPoint*).
- Jedno zařízení může obsahovat více koncových bodů.
- Hostitel jediný udržuje kompletní informaci o fyzické topologii.
- Každé zařízení připojené ke sběrnici dekóduje pakety a zjišťuje, zda jsou určeny pro něj. Podřizuje se požadavkům hostitele.

- Podle typu a směru operace může následovat přenos dat.
- Pokud nemá zařízení žádná data na přenos, sdělí to hostiteli a datový přenos není v daný okamžik zahájen.
- Přenosový kanál pro komunikaci s daným koncovým bodem daného zařízení se nazývá **roura** (*pipe*).
- Každé zařízení obsahuje po připojení ke sběrnici minimálně jednu rouru pro zprávy (*Default Control Pipe*)
- pomocí této roury se provádí konfigurace zařízení a přenos všech informací o stavu zařízení.
- Identifikátor paketu – přímá i negovaná forma.

- Každý rozbočovač se snaží komunikovat s nadřazeným rozbočovačem na maximální možné rychlosti.
- Každá aplikace komunikuje pouze se svým zařízením a o ostatních komunikacích nemá žádné informace, ačkoli kapacita sběrnice je sdílena.
- Nemůže tedy dojít k ovlivňování mezi jednotlivými programy a zařízeními.

Prostředky pro detekci chyb a změn

- **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*) – cyklická kontrola.
- Detekce připojení a odpojení zařízení, přidělování prostředků na systémové úrovni.
- Schopnost opakovat přenos několikrát, dříve než bude klientskému softwaru oznámena chyba během přenosu.
- Kontrola správné posloupnosti paketů.

Připojení nebo odpojení zařízení

- Zařízení je možné připojit nebo odpojit v jakýkoliv okamžik.
- Hostitel zjišťuje, zda na konkrétním rozbočovači nedošlo ke změně stavu zařízení.
- Pokud zjistí nové zařízení, provede inicializaci zařízení, vytvoří rouru ke konfiguračnímu koncovému bodu a informuje hostitelský systém o novém zařízení.
- Takto se musí dotazovat všech rozbočovačů, které jsou ke sběrnici připojeny.
- Pokud dojde k odpojení zařízení a jednalo-li se o funkční zařízení, jsou uvolněny prostředky, které byly použity, a sdělí se hostitelskému systému, že zařízení bylo odebráno.
- Pokud je odpojen celý rozbočovač, ke kterému byla připojena jiná zařízení, musí hostitel uvolnit všechny prostředky všech odebraných zařízení a oznámit systému všechna odebraná zařízení.

