

Metody připojování periférií

BI-MPP

Přednáška 4

Ing. Miroslav Skrbek, Ph.D.

Katedra číslicového návrhu

Fakulta informačních technologií

České vysoké učení technické v Praze

Miroslav Skrbek ©2010-2021

ZS2021/22



Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

Agenda

- USB 3.0
- USB On-The-Go
- Deskriptory zařízení
- USB 4.0
- Konektor USB-C

Literatura

- Gook, M.: Hardwarová rozhraní – Průvodce programátora. Computer Press, Brno 2006. ISBN 80-251-1019-2
- Universal Serial Bus Specification 3.0, Revision 1.0, Listopad 2008
http://www.usb.org/developers/docs/usb_3_0_spec_092911.zip

Univerzální sériová sběrnice (USB)

- Byla vyvinuta pro připojení periférií jako náhrada za sériový a paralelní port
- Ve verzi USB1.1 rychlostně pokrývala aplikační oblasti do potřeb audio přenosů
- Potřeba přenášení videa a konkurence FireWire si vynutila verzi USB 2.0 s přenosovou rychlostí 480Mb/s
- Nyní ve verzi USB3.0
- Dodatek On-The-Go dovoluje existenci embedded USB host zařízení

Firmy, které se podílejí na standardu USB

- Hewlett-Packard Company
- Intel Corporation
- Microsoft Corporation
- NEC Corporation
- ST-NXP Wireless
- Texas Instruments

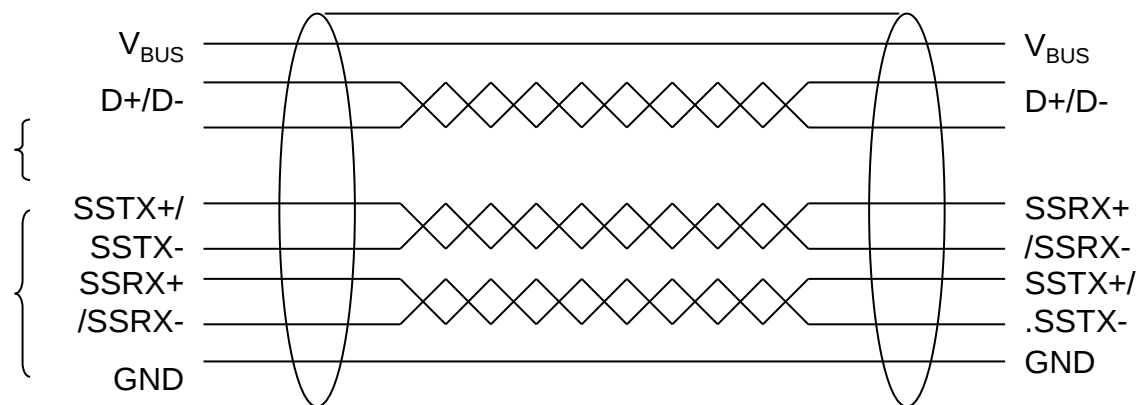
Charakteristika USB

- Fyzické propojení USB zařízení má stromovou strukturu
- Logicky je to sběrnice
- Maximálně lze připojit 127 zařízení
- Maximální vzdálenost pro přímé propojení mezi rozbočovači je daná délkou kabelu a je 5m, maximální vzdálenost od hostitelského počítače je 25m
- Pro USB3.0 jsou definovány přenosové rychlosti 1.5Mb/s, 12Mb/s, 480Mb/s, 5Gb/s (oddělené linky)

Kabel USB 3.0

USB 2.0 data
(1.5, 12, 480 Mb/s)

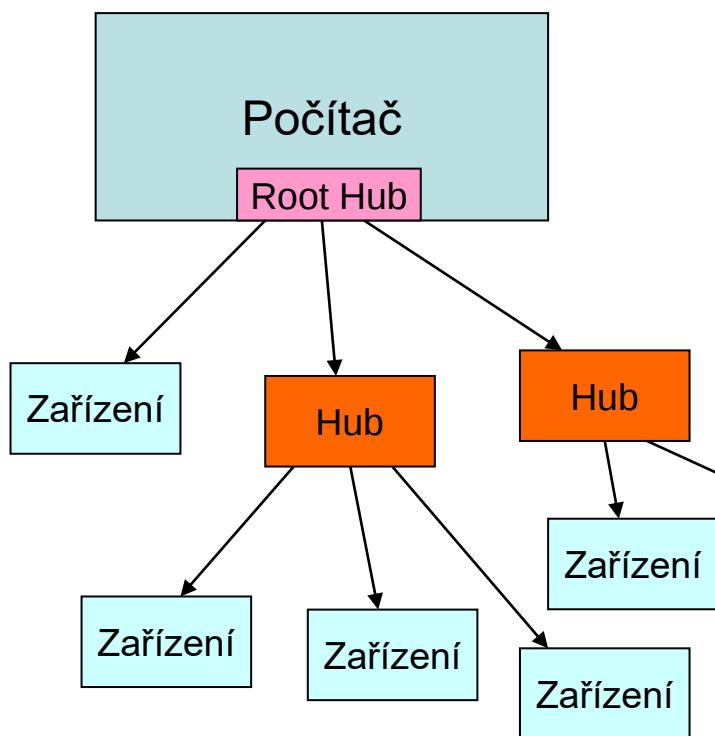
SuperSpeed (5Gb/s)



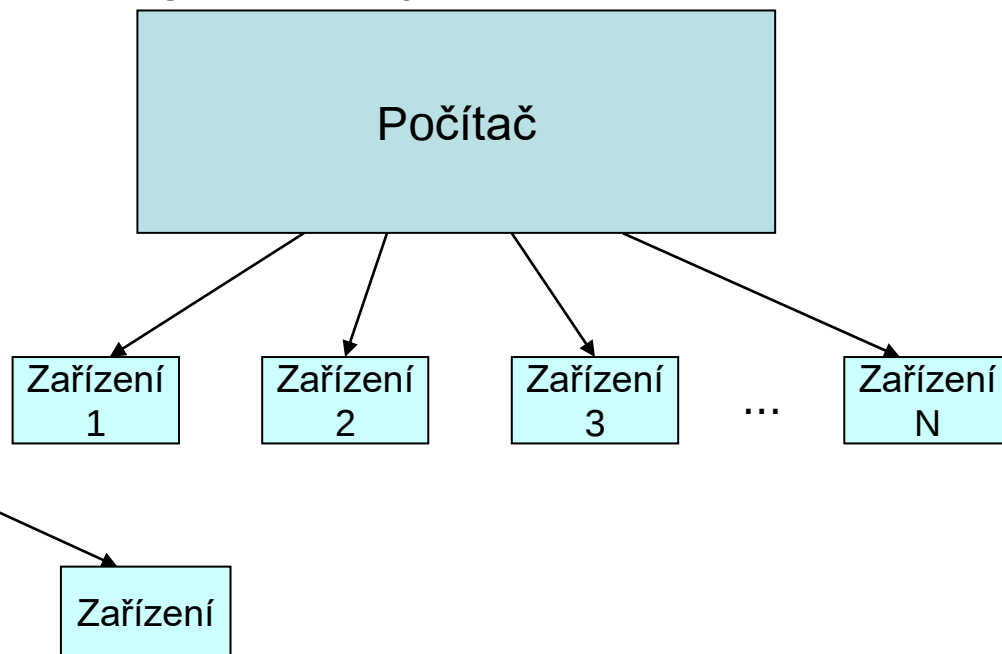
1	červený	VBUS	Napájení +5V
2/3	bílý/zelený	D-/D+	Datový nestíněný pár USB 2.0
4	černý	GND	Napájení 0V
5/6	modrý/žlutý	SDP1-/SDP1+	Datový stíněný pár SuperSpeed
7			SDP1 stínění
8/9	fialová/oranž.	SDP2-/SDP2+	Datový stíněný pár SuperSpeed
10			SDP2 stínění

Fyzické propojení vs. logické propojení

Fyzické propojení



Logické propojení



USB On-The-Go

- Dodatek k USB2.0
- Dovoluje zařízením stát se hostitelským počítačem
- Protokol podporuje vzájemnou dohodu zařízení, kdo je hostitel a kdo zařízení
- Dovoluje například kopírovat data z fotoaparátu na USB disk bez nutnosti počítače, tisk fotografií přímo z USB flashky, atd.
- Dnes je On-The-Go řadič běžnou součástí některých typů mikropočítačů a embedded procesorů

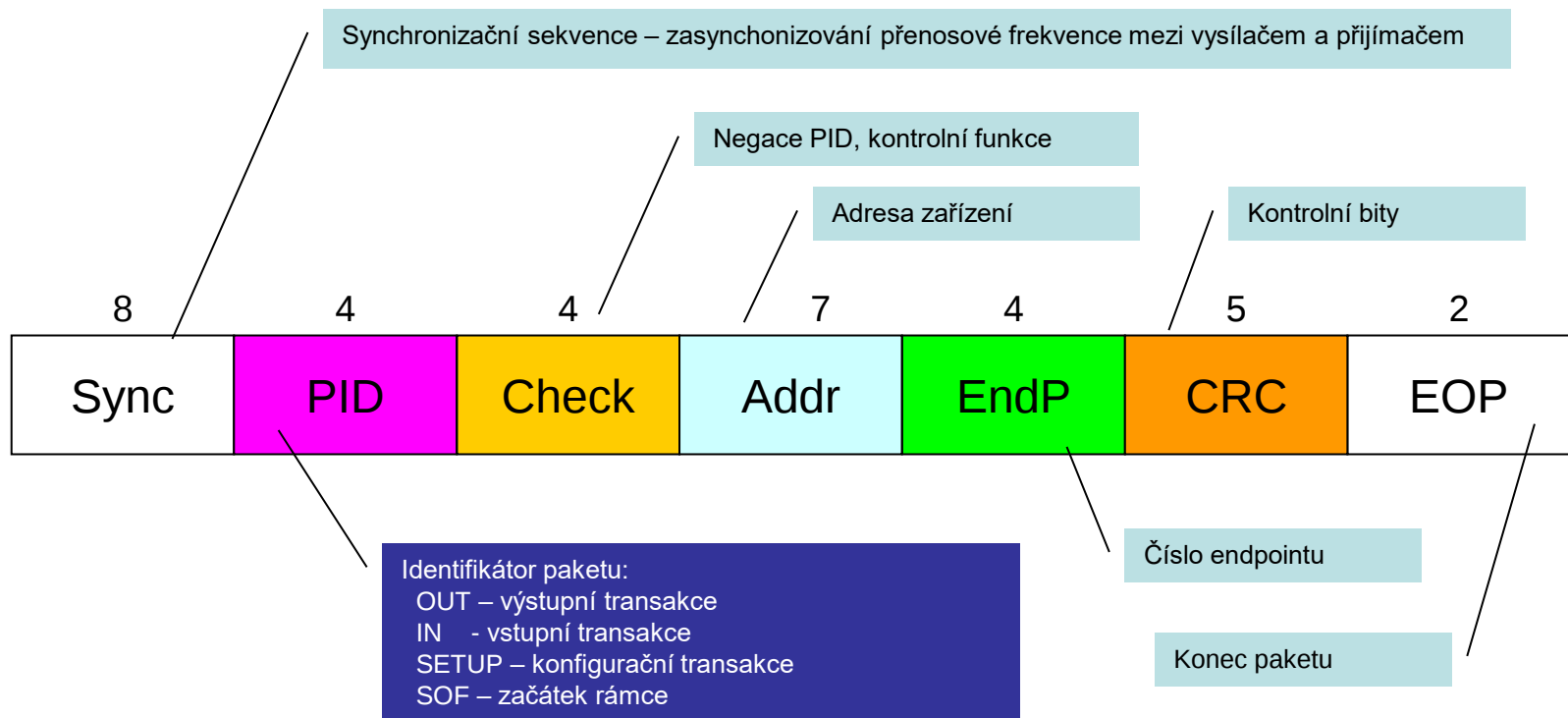
Endpointy

- Endpoint je koncový bod na USB zařízení, se kterým hostitelský počítač komunikuje
- Endpoint je fyzicky hardwarově realizován a typicky obsahuje frontu pro příjem dat
- Každé zařízení má povinný Endpoint 0, který se používá pro konfiguraci zařízení, ostatní endpointy tvoří rozhraní logických zařízení
- Maximální počet Endpointů je 16
- Každý Endpoint má určen směr přenosu
- Všechny Endpointy sdílejí společný komunikační kanál (USB kabel), číslo Endpointu je součástí komunikačního protokolu.

Přenosy po USB

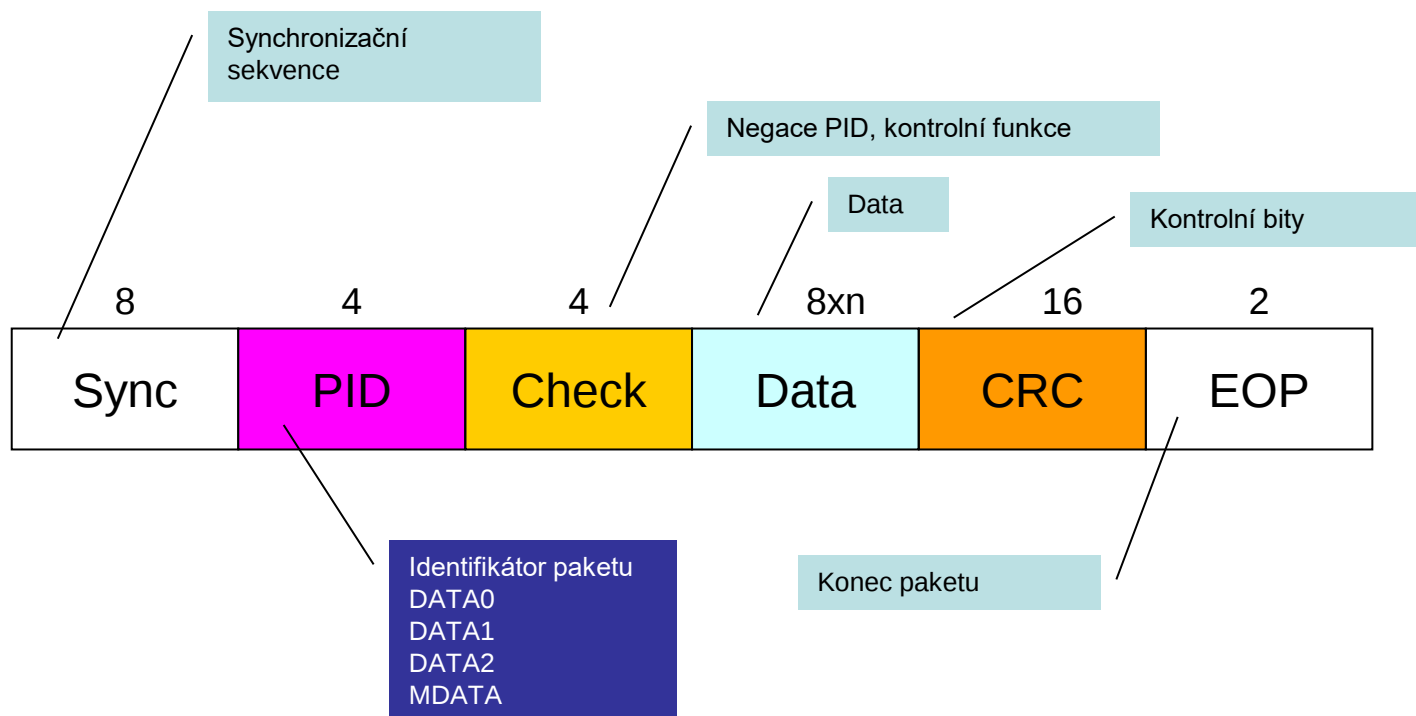
- Rozeznáváme přenosy
 - blokové (spolehlivé, opakování přenosu při chybě)
 - isochronní (při chybě se informace ztrácí)
 - řídicí
- Přenosy se skládají z transakcí, kterou tvoří
 - Hlavičkový paket (token), který nese informaci o typu přenosu (IN/OUT/SETUP), adresu zařízení a endpoint
 - Datový paket (DATA0, DATA1, ...)
 - Potvrzení (ACK, NACK, STALL, nebo bez potvrzení)

Formát hlavičkového paketu (token)

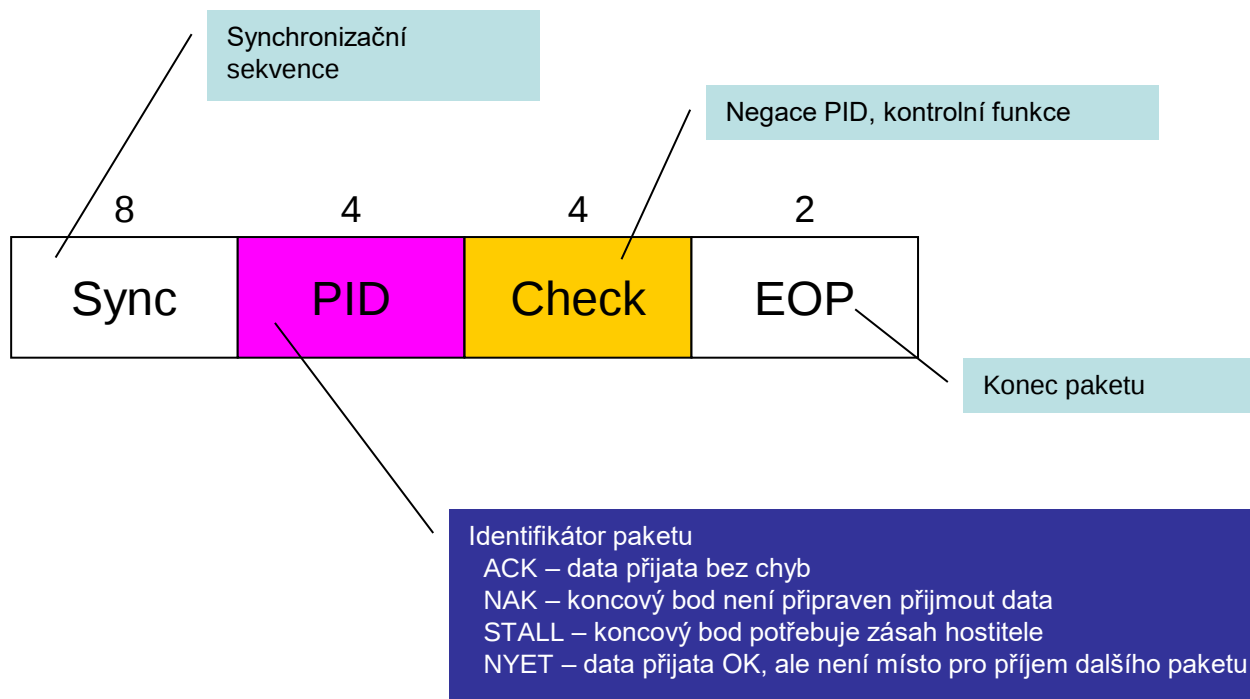


Formát přenosů určuje řadu limitů: počet typů rámce, počet adresovatelných zařízení a počet endpointů.

Formát datového paketu



Formát potvrzovacího paketu



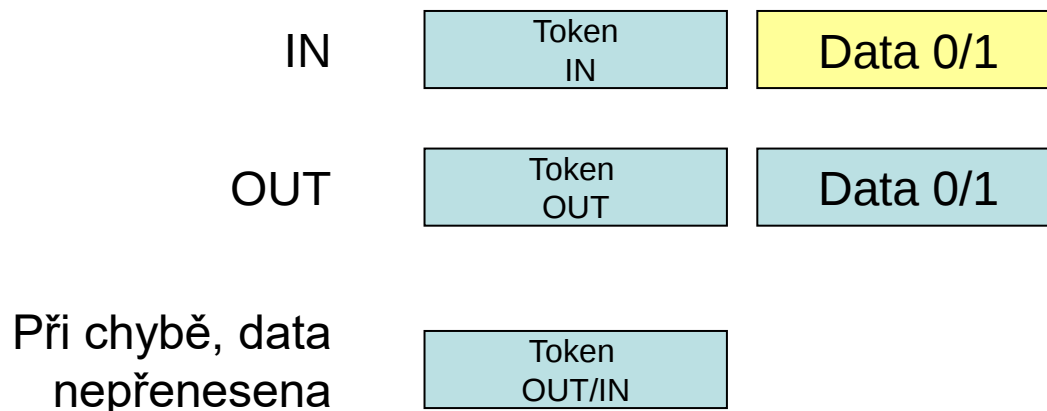
Blokové transakce (Bulk transactions)

Blokové transakce jsou základními přenosovými jednotkami pro blokové přenosy (bulk transfers)

IN (data size > 0)	Token IN	Data 0/1	ACK
IN (data size = 0)	Token IN	ACK	
OUT (data size > 0)	Token OUT/SETUP	Data 0/1	ACK
OUT (data size = 0)	Token OUT/SETUP	ACK	
Přenos ok, data nelze momentálně přijmout, zopakovat přenos	Token IN/OUT/SETUP	NACK	
Přenos ok, data nelze přijmout, problém softwarový zásah, nezkoušet opakovat přenos	Token IN/OUT/SETUP	STALL	
Data byla přijata s chybou	Token IN/OUT/SETUP		

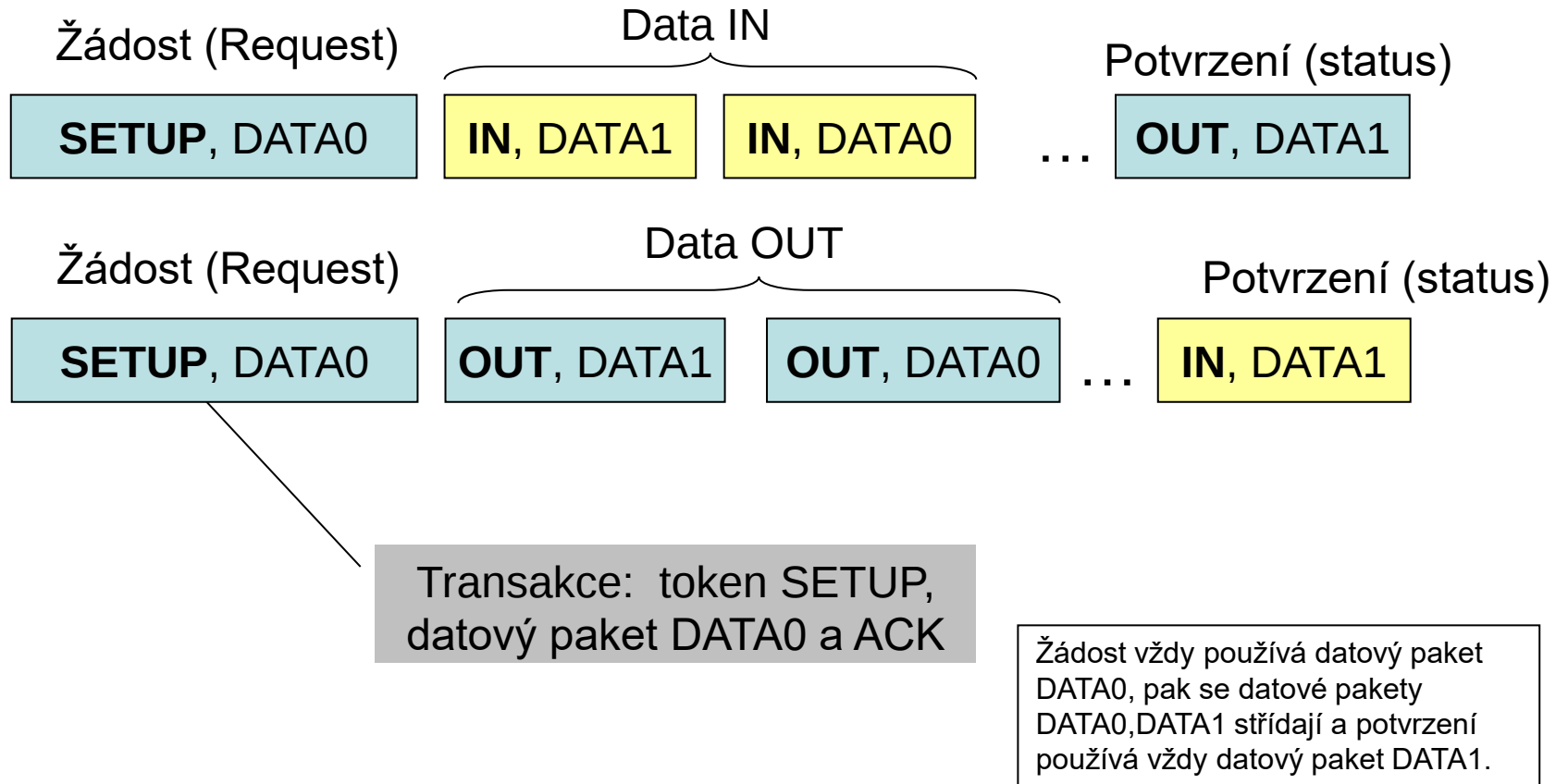
Pozn: přenos host → device je
modrý, přenos device → host je
žlutý

Isochronní transakce

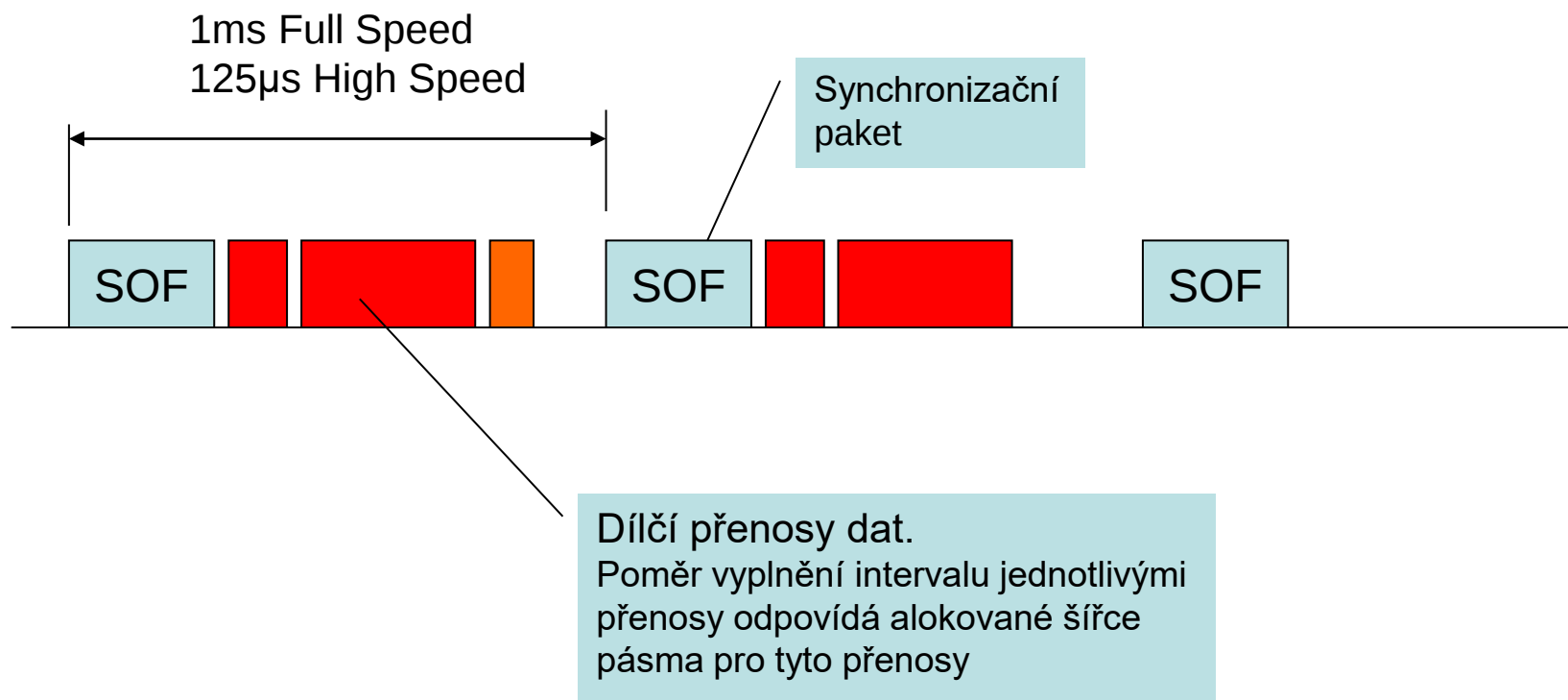


Isochronní transakce se od blokových liší tím, že nemají potvrzování a data nelze při chybě nebo nemožnosti přijetí opakovat

Řídící přenosy



Synchronizace přenosů (rámce)

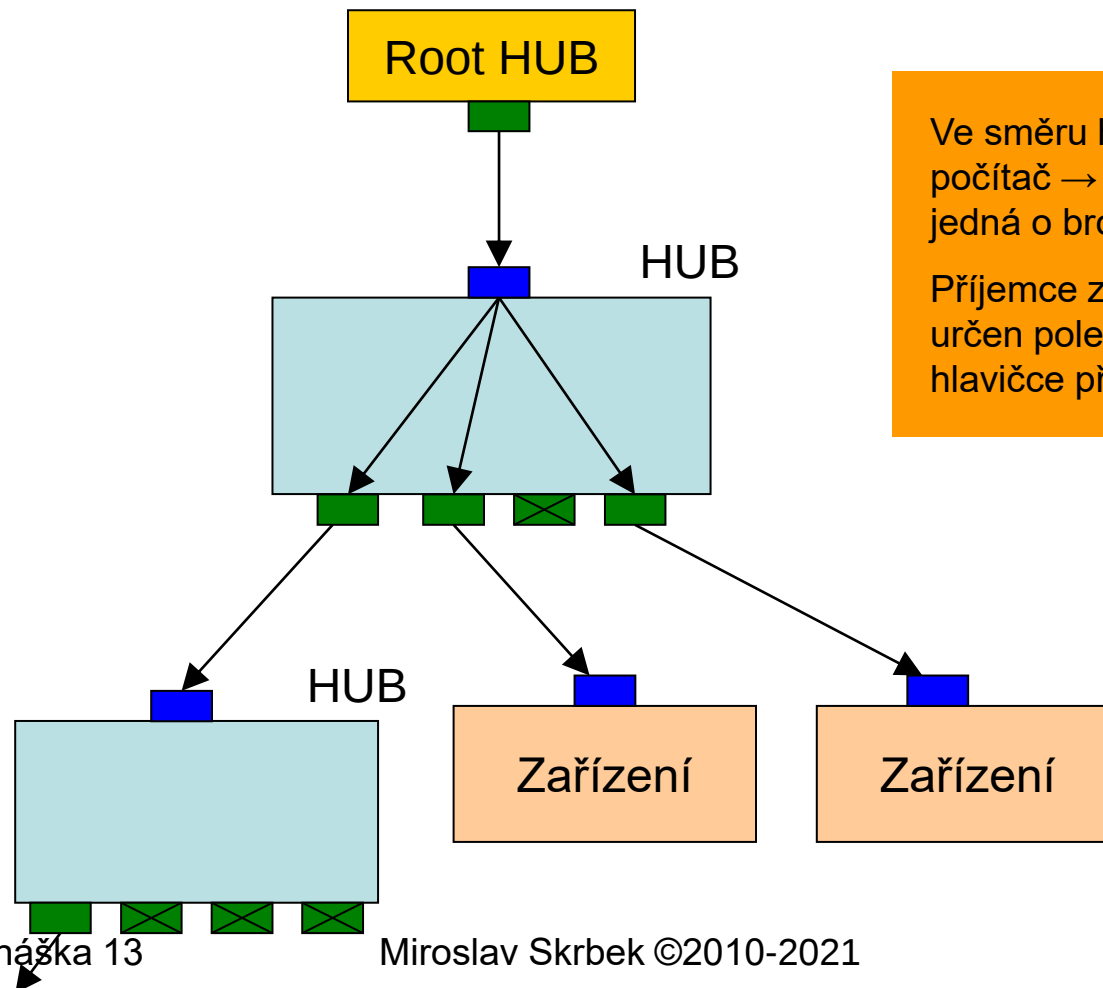


Typy přenosů

- Řídící přenosy – slouží ke konfiguraci zařízení a vyčítání PnP informace ze zařízení. Doručení dat zaručeno.
- Hromadné přenosy – přenos dat bez požadavku na termín a rychlost doručení. Doručení dat je garantováno. V případě chyby se přenos dat opakuje. Mají nejnižší prioritu
- Izochronní přenosy – přenosy dat v reálném čase. Určeno pro přesnost audio a video dat. Není zaručeno dodání dat (možnost ztráty, při chybě se přenosy neopakují). V rámci maximální šířky pásma si mohou jednotlivé izochronní kanály alokovat požadovanou šířku pásma (přenosovou rychlost).
- Přerušování – přenosy dat od zařízení s minimálním zpožděním. Požadavky na tyto přenosy vznikají asynchronně na straně zařízení, avšak do hostitelského počítače se přenášejí až na žádost hostitelského počítače (polling). Perioda dotazů na interrupt endpointy je popsána v deskriptoru pro tento endpoint.

Propagace dat hierarchií HUBů

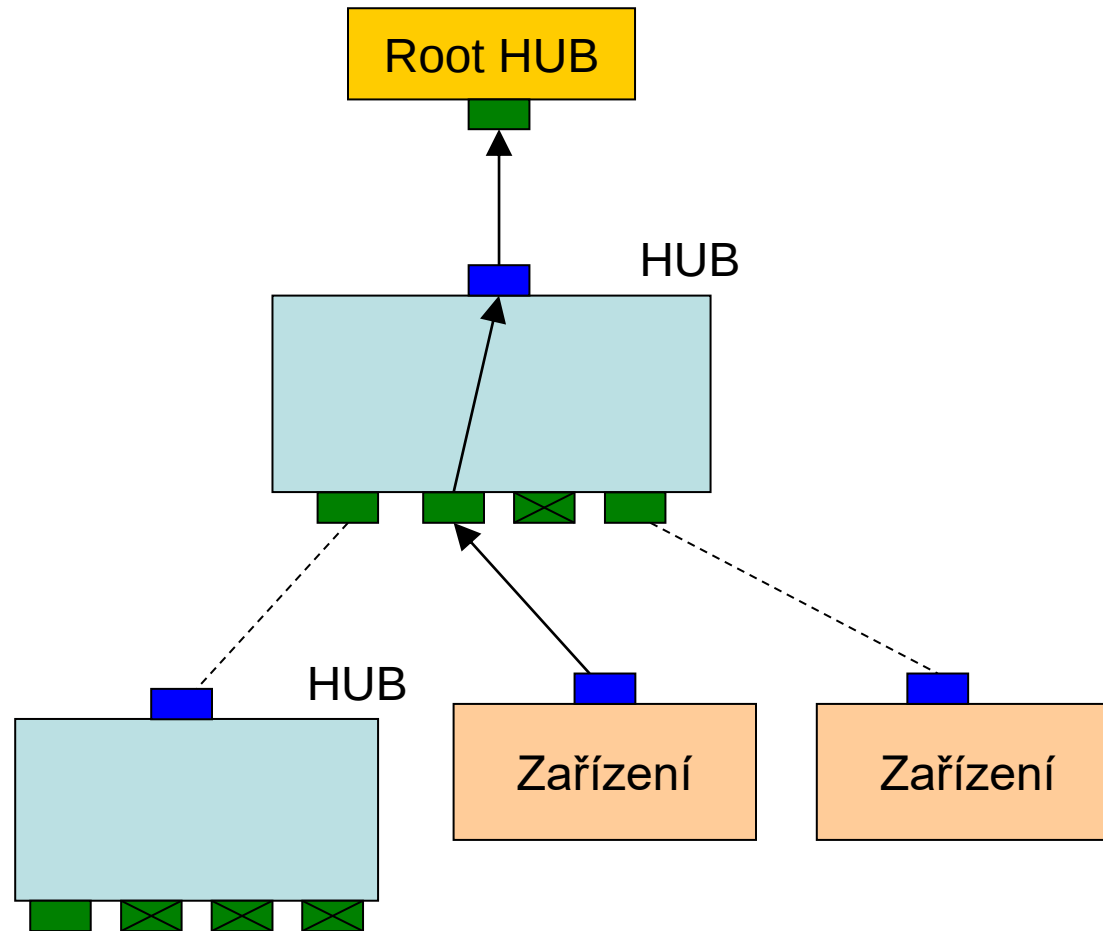
směr hostitelský počítač → zařízení



Ve směru hostitelský počítač → zařízení se jedná o broadcast.

Příjemce zprávy je určen polem addr v hlavičce přenosu.

Propagace dat hierarchií HUBů směr zařízení → hostitelský počítač



USB a PnP

- USB zařízení jsou typu PnP (plug-and-play)
- PnP informace o zařízení je uložena v deskriptorech a lze ji ze zařízení vyčíst speciálními konfiguračními požadavky (Requests)
- Na základě PnP informací operační systém instaluje ovladače pro dané zařízení

Deskriptory USB zařízení

- Identifikují zařízení
 - Jednoznačně VID a PID
 - Jako zařízení dané třídy
- Popisují zařízení z hlediska
 - Konfigurací (configuration)
 - Rozhraní (interface)
 - Endpointů
- Čtou se přes endpoint 0
 - Bulk přenosem typu SETUP
- Request GetDescriptor

Typy deskriptorů

- DeviceDescriptor
- Configuration Descriptor
- Interface Descriptor
- EndPoint Descriptor
- Speciální typy
 - Popisující HUB
 - Popisující HID zařízení

DeviceDescriptor

```
typedef struct device_descr
{
    byte bLength;
    byte bDescriptorType;    // povinné pro všechny deskriptory
    word bcdUSB;             // verze USB
    byte bDeviceClass;       // třída zařízení
    byte bDeviceSubClass;    // podtřída zařízení
    byte bDeviceProtocol;    // typ protokolu
    byte bMaxPacketSize;     // velikost bufferu pro SETUP přenosy
    word idVendor;           // identifikátor výrobce
    word idProduct;          // identifikátor produktu
    word bcdDevice;
    byte iManufacturer;      // index string deskriptoru výrobce
    byte iProduct;           // index string deskriptoru produktu
    byte iSerialNumber;      // index string deskriptoru ser. čísla
    byte bNumConfigurations; // počet konfigurací zařízení
} device_descr_t;
```

VID a PID

- VID (Vendor ID) je číslo, které jednoznačně identifikuje výrobce
- PID (Produkt ID) je číslo, které jednoznačně identifikuje produkt daného výrobce
- VID a PID se užívá pro vyhledání driveru pro konkrétní zařízení

Class a SubClass zařízení

- Class a SubClass jsou čísla, která určují druh zařízení (např. MassStorage Device, HID Device, apod.)
- Zařízení, které udává třídu a podtřídu musí být s třídou těchto zařízení kompatibilní (standardizováno)
- Pro zařízení v dané třídě fungují univerzální třídni ovladače a není potřeba ovladač pro konkrétní zařízení.
- Typickým USB zařízením užívajícím třídni ovladače je MassStorage Device (USB klíčenka)

Indexy string deskriptorů

- iManufacturer, iProduct a iSerialNumber jsou indexy (čísla) string deskriptorů.
- String deskriptory obsahují textovou informaci v jednom nebo více jazycích popisující výrobce, produkt a sériové číslo.
- Obsahy deskriptorů se zobrazují v os windows ve žluté bublině při zasunutí zařízení.

Configuration Descriptor

```
typedef struct config_descriptor {
    byte bLength;
    byte bDescriptorType;
    word wTotalLength;           // celková délka včetně
                                // interface deskriptorů,
                                // které následují
    byte bNumInterface;         // počet interface deskriptorů
    byte bConfigurationValue;   // konfigurační hodnota
    byte iConfiguration;        // index string deskř. Popisující
                                // konfiguraci
    byte bmAttributes;          // atributy konfigurace
    byte bMaxPower;             // maximální odběr zařízení v dané
                                // konfiguraci v mA
} config_descriptor_t;
```

Konfigurační deskriptor

- Popisuje konfiguraci zařízení. Různé konfigurace se mohou lišit ve spotřebě, zapnutí určitých funkcionalit zařízení, různé velikosti bufferů na interfacech apod.
- Konfiguračních deskriptorů může být více, podle počtu možných konfigurací
- V daném okamžiku je aktivní pouze jedna konfigurace a vybírá se USB requestem na základě hodnoty v položce bConfigurationValue.

Interface Descriptor a Endpoint Descriptor

```
typedef struct interf_descriptor {  
    byte bLength;  
    byte bDescriptorType;  
    byte bInterfaceNumber;  
    byte bAlternateSetting;  
    byte bNumEndpoints;  
    byte bInterfaceClass;  
    byte bInterfaceSubClass;  
    byte bInterfaceProtocol;  
    byte iInterface;  
} interf_descriptor_t;
```

```
typedef struct endpoint_descriptor {  
    byte bLength;  
    byte bDescriptorType;  
    byte bEndpointAddress;  
    byte bmAttributes;  
    word wMaxPacketSize;  
    byte bInterval;  
} endpoint_descriptor_t;
```

USB4

- USB-C konektor (5V/3A)
- Povinná specifikace USB Power Delivery
- Přenosová rychlost až 40Gb/s
- Tunelování
 - USB3.2
 - Display portu
 - PCI Express
- USB-C konektor obsahuje USB2 D+,D-

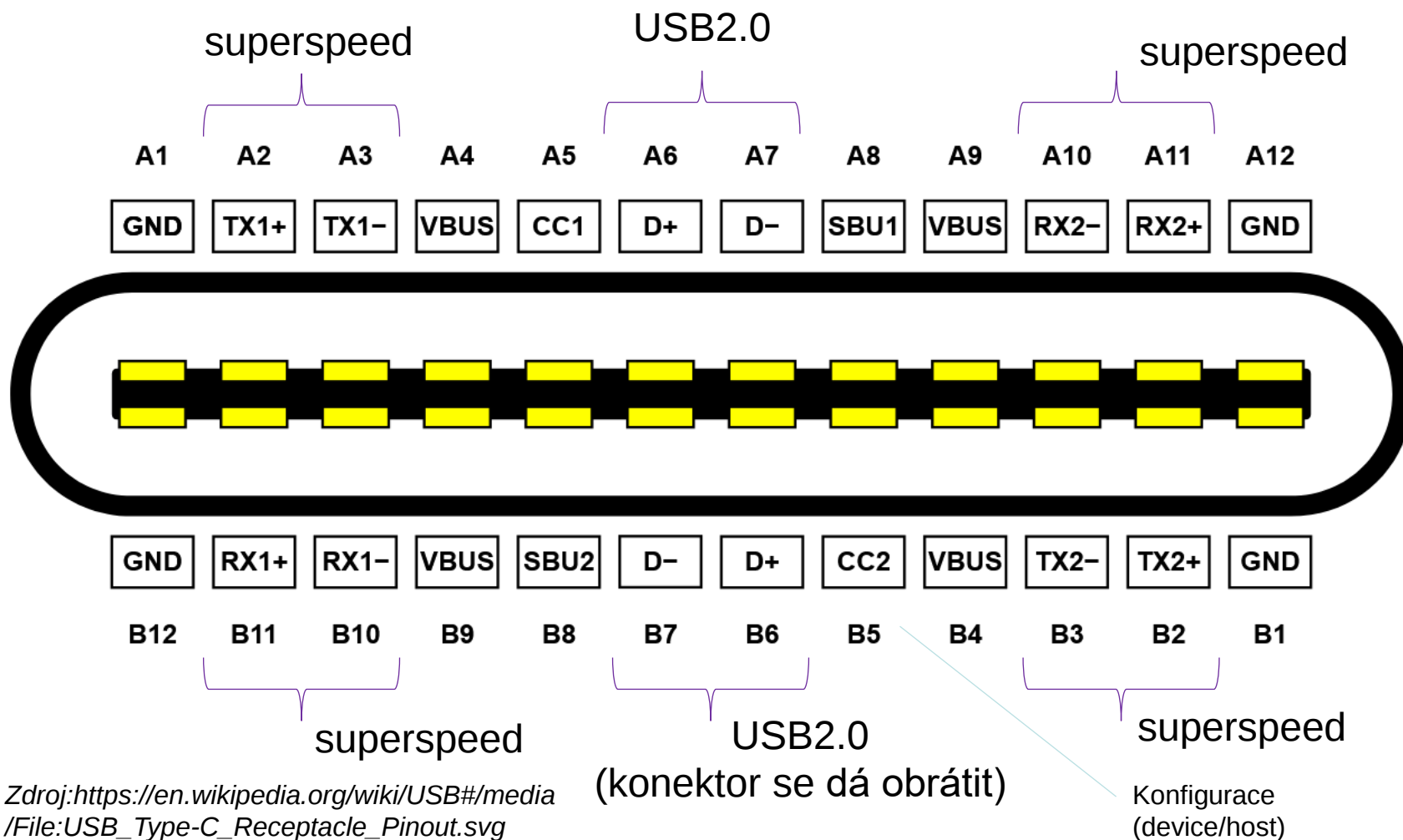
Komunikační rychlosti USB

- Low Speed - 1.5Mb/s, (USB1.0,1.1,2.0)
- Full Speed - 12Mb/s, (USB1.0,1.1,2.0)
- High Speed - 480Mb/s (USB2.0)
- Super Speed - 5Gb/s (USB3.0)
- Super Speed+ - 10Gb/s (USB3.1)
- Super Speed+ - 20Gb/s (USB3.2)
- SuperSpeed+ - 40Gb/s (USB4)

USB konektory

- Typ A (host) USB1.0,1.1,2.0
- Typ B (device) USB 1.0,1.1,2.0
- Typ C (host,device) USB2.0,3.0,3.1,3.2,4
- Mini/micro verze
 - Mini A, mini B (USB1.1,2.0)
 - Mini AB USB2.0
 - Micro A, micro AB (USB2.0)
 - Micro B (USB3.0)

USB-C konektor



Co znamená tunelování PCI Express ?

Uvědomíme si, že PCI-E je systémová sběrnice, proto registry periférie jsou mapovány do paměťového nebo IO prostoru počítače PC a přistupujeme k nim pomocí paměťových operací a IO operací.

Zařízení připojené přes „USB“ detekujeme na Linuxu příkazem `lspci`.

