

Zadání:

1. Seznamte se s principy komunikace na sériovém rozhraní USB a USB 2.0.
2. Prostudujte ovládání aplikace „USBTrace“ a „busTRACE“ pro analýzu komunikace na rozhraní USB.
3. Pomocí aplikace „USBTrace“ prostudujte topologii sběrnice USB.
4. Pomocí aplikace „USBTrace“ analyzujte komunikaci na sběrnici USB.
5. Zjistěte, jak vypadá struktura paketu a o jaký typ přenosu se jedná:
 - po připojení nového zařízení do sběrnice USB (FlashDisk, myš).
 - při pohybu myši a zmačknutí tlačítka na myši.
 - při programování FITkitu a spuštění aplikace „Teploměr“.
 - při kopírování a mazání souborů na velkokapacitní paměťové zařízení USB (FlashDisk).
6. Zjistěte, jaké informace se přenášejí mezi počítačem a paměťovým zařízením při přenosu souborů přes rozhraní USB, analyzujte obsahy paketů.
7. Pomocí aplikace „busTRACE“ zjistěte základní rozdíly v přenosu souborů přes rozhraní USB a SATA.

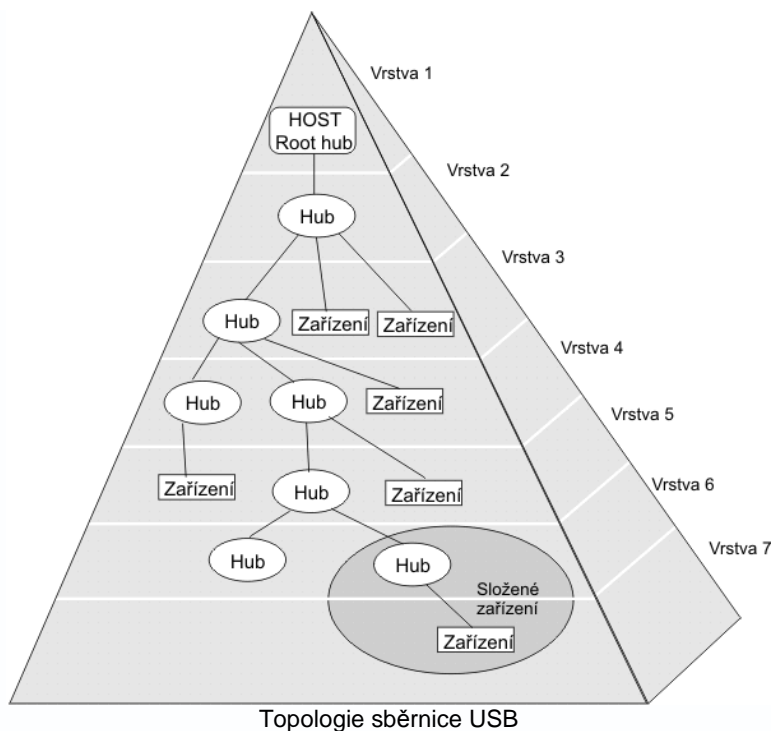


Co je to USB?

USB je sériová sběrnice, umožňující připojit širokou škálu zařízení k osobnímu počítači. Pomocí USB lze připojit téměř každou periférii, klávesnicí, myši a tiskárnu počínaje a kamerami, zvukovými kartami či pevnými disky konče. V současné době je její nejnovější specifikací USB 2.0.

Topologie sběrnice

USB dle USB 2.0 specifikace využívá vrstevnou hvězdicovou topologii, kde je v centru každé hvězdičky tzv. USB hub. K tomuto hubu může být připojen buď další hub (na další úrovni), nebo koncové zařízení. Někdy se USB topologie znázorňuje také ve formě pyramidy - viz obrázek.



Poznámka: Originální anglická literatura nazývá všechny přístroje připojené na USB sběrnici zařízeními (USB devices) a rozlišuje mezi rozbočovači (USB hubs) a zařízeními, přidávajícími hostitelskému systému nějaké schopnosti (USB functions). Doslovný překlad "USB funkce" by byl velmi neobratný, proto budu "USB function" nazývat "koncové zařízení".

USB sběrnice obsahuje jeden tzv. kořenový rozbočovač (root hub), který je považován za nejvyšší (první) úroveň a k němuž jsou připojeny další huby a zařízení. Rozhraní mezi USB systémem a hostitelským počítačem je nazýváno **hostitelský řadič** (Host Controller). Tento řadič může být implementován hardwarově nebo softwarově. Kořenový rozbočovač je integrován spolu s hostitelským řadičem do hostitelského systému a nabízí nejčastěji dva přípojné body.

S ohledem na zpoždění signálu v kabelech a hubech povoluje specifikace maximálně sedm úrovní včetně kořenové vrstvy. To znamená, že mezi kořenovým rozbočovačem a koncovým zařízením může být zapojeno maximálně pět rozbočovačů.

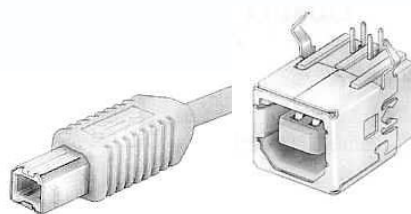
Fyzické provedení - konektory a kabely

V USB systémech jsou použity dva typy konektorů, které pomáhají odlišit směr zapojení. Směr od kořenového hubu ke koncovému zařízení se nazývá **downstream**, směr opačný, od zařízení ke kořenovému hubu, **upstream**. Konektor typu A (známý plochý konektor) je vždy pro upstream, tedy směrem k hostitelskému zařízení.



Konektor a zásuvka typu A

Konektor typu B (čtvercový konektor) je pro downstream, tedy směrem ke koncovému zařízení.



Konektor a zásuvka typu B

Pro zjednodušení lze říci, že do počítače nebo hubu se vždy zasouvá plochý konektor typu A, do zařízení konektor B.

Kromě těchto dvou základních typů konektorů jsou občas používány i další typy, většinou nazývané *Mini-B*. Tyto konektory se používají zejména v malých zařízeních, např. v digitálních fotoaparátech, kde by byl klasický konektor B příliš velký. Mini-B konektor se vyskytuje buď jako plochý (zmenšený konektor typu A), nebo jako čtvercový.

USB sběrnice používá tři rychlosti toku dat

- **Low Speed** - max. 1.5 Mbit/s - klávesnice, myš, polohovací zařízení
- **Full Speed** - max. 12 Mbit/s – tiskárna, scanner, audio, ...
- **High Speed** - max. 480 Mbit/s - flashdisk, pevný disk, video stream, ...

HS huby jsou kompatibilní s LS/FS zařízeními, stejně tak HS zařízení lze připojit k LS/FS hubu a provozovat je. USB navíc není omezeno "nejslabším článkem" a je-li ke kořenovému HS hubu zapojen další HS hub a k němu pomalé zařízení, tak komunikace mezi HS zařízeními probíhá v režimu HS.

Rozhraní USB sběrnice

USB sběrnice využívá čtyři vodiče. Po dvou vodičích je přenášeno napájecí napětí a zem, po dalších dvou jsou přenášena diferenciálně vlastní data. Díky tomu má USB sběrnice i při vysokých přenosových rychlostech značnou odolnost proti šumu a proti rušení. USB 2.0 specifikuje parametry kabelů pro propojování zařízení. Pro HS a FS je vyžadován stíněný kabel maximální délky 5 metrů, pro LS není stínění vyžadováno a délka kabelu je pak omezena na tři metry.

Protokol

USB je řízená sběrnice, kde veškeré datové přenosy inicializuje host controller.

Většina sběrnicových transakcí (přenosů dat) sestává z vyslání až tří paketů. Každá transakce začíná tím, že Host Controller vyšle USB paket popisující typ a směr přenosu, adresu zařízení a číslo koncového bodu (endpoint) v zařízení (k těmto termínům se ještě dostanu). Tento paket je označen jako **token paket**. USB zařízení, které rozpozná svou adresu, se připraví k přenosu. Směr přenosu, tedy zda jde o přenos dat ze zařízení do hostitelského systému nebo z hostitelského systému do zařízení, je určen token paketem. Poté zdroj dat (zařízení nebo systém) vyšle datový paket nebo oznámí, že nemá žádná data k vyslání. Transakce bývá

ukončena tím, že příjemce (cíl dat) vyšle **handshake paket**, kterým potvrdí úspěšnost přenosu. Některé transakce mezi hostitelským systémem a hubem sestávají ze čtyř paketů. Transakce tohoto typu jsou používány pro řízení datových přenosů mezi hostitelským systémem a FS/LS zařízeními. Pomyslná cesta pro datové přenosy mezi hostitelským zařízením a koncovým bodem v zařízení je nazývána rourou (pipe). Existují dva typy rour:

- Pro **datové proudy** (streams);
- pro **zprávy** (messages).

Datový proud nemá, na rozdíl od zpráv, pevně definovanou strukturu. Roura má dále přiřazené některé parametry, jako jsou šířka přenosového pásma (bandwidth), typ přenosu a charakteristiky koncového bodu, jako směr a velikost bufferu. Většina rour je vytvořena v okamžiku konfigurace USB zařízení. Jedna roura pro přenos zpráv, tzv. Default Control Pipe, existuje ihned po připojení zařízení a poskytuje přístup ke konfiguračním, stavovým a řídicím informacím zařízení.

Detekce a obsluha chyb

Protokol obsahuje oddělené kontrolní součty (CRC) pro řídicí a datová pole každého paketu. Chybný CRC kód indikuje poškozený paket a pokrývá 100% případů chyb v jednom či dvou bitech.

Typy datových toků

USB umožňuje výměnu dat a řídicích informací mezi hostitelským systémem a koncovým zařízením pomocí množiny jednosměrných či obousměrných rour. Každá z těchto rour je připojena k jednomu koncovému bodu (endpoint) daného zařízení. Komunikace v jednotlivých rourách je na sobě navzájem nezávislá.

Specifikace USB obsahuje čtyři základní typy datových přenosů:

- **Řídicí (control) přenosy** jsou používány ke konfiguraci zařízení při jeho připojení a mohou být použity k dalším účelům, jako např. k řízení dalších komunikačních rour.
- **Hromadné (bulk) přenosy** slouží k přenosům velkého množství dat a jsou na ně kladena nejmenší omezení.
- **Přerušovací (interrupt) přenosy** slouží k včasnému a spolehlivému doručení dat, nejčastěji pro asynchronní události.
- **Izochronní (isochronous) přenosy** zabírají předem smluvené množství přenosového pásma a mají předem dohodnuté zpoždění. Tento druh přenosů je také nazýván proudový přenos v reálném čase (streaming real-time transfer).

Hromadné přenosy obsahují velká množství dat, např. data pro tiskárny nebo získaná ze scannerů. Hromadná data jsou přenášena sekvenčně a spolehlivost jejich přenosu je zajišťována detekcí chyb na hardwarové úrovni a omezeným počtem opakovaných pokusů. Šířka pásma, využitá hromadným přenosem, může být různá a záleží na ostatním provozu na sběrnici.

Přerušovací přenosy přenášejí data do nebo ze zařízení. Zařízení může požádat o přenos těchto dat v kterýkoliv okamžik a tato data jsou doručena USB sběrnici v nejkratším možném čase. Nejčastěji se jedná o upozornění na nějakou událost, například na stisk klávesy na klávesnici nebo změnu pozice myši, tedy taková data, která zaberou jen několik bajtů.

Izochronní přenosy ("stejnodobé", plynulé) jsou trvalé přenosy, u nichž probíhá vytváření, přenos a zpracování dat v reálném čase. Přesné časování přenosu je zajištěno rovnoměrným rozložením úseků, ve kterých jsou izochronní data přijímána a odesílána, v čase. Izochronní data musí být předávána hubem se stejnou frekvencí, s jakou jsou přijímána, aby bylo dodrženo časování. Tato data mohou být také citlivá na zpoždění při přenosu. Izochronní roury mívají šířku přenosového pásma odvozenou nejčastěji od vzorkovací frekvence daného zařízení. Požadavky na zpoždění (latency) jsou dány velikostí vyrovnávací paměti daného koncového bodu.

Typický příklad izochronních dat je digitálně zpracovaný hlas. Pokud není zajištěn stejnoměrný tok dat, objeví se ve výsledném zvuku výpadky, způsobené podtečením či přetečením bufferu.

Koncové body

Koncový bod (endpoint) je jednoznačně identifikovatelná část USB zařízení, která stojí na jednom konci komunikačního toku mezi hostitelem a zařízením. Každé logické zařízení se skládá z několika nezávislých koncových bodů. Tomuto logickému zařízení je během připojování přiřazena jednoznačná identifikace v rámci sběrnice. Každý koncový bod v rámci zařízení má přiřazen výrobcem kód, nazývaný *číslo bodu* (endpoint number) v rozsahu 0-15. Endpointy mají zároveň návrhem pevně daný směr komunikace (příjem / vysílání dat). Kombinace identifikátoru zařízení, čísla endpointu a směru komunikace dává dohromady jednoznačné určení endpointu v rámci USB sběrnice. V jednom zařízení se tedy mohou vyskytnout dva endpointy se stejným číslem a různým směrem přenosu dat.

Koncový bod má jisté charakteristiky, které určují typ přenosů mezi ním a klientským SW. Koncový bod sám sebe popisuje:

- Požadavky na frekvenci a latenci přístupů ke sběrnici
- Požadavkem na šířku přenosového pásma
- Číslem koncového bodu
- Požadavky na chování obsluhy chyb
- Maximální velikostí paketu, kterou je schopen endpoint přijmout nebo odeslat
- Typem přenosu
- Směrem přenosu

Endpointy jiné než endpoint 0 jsou po připojení v nedefinovaném stavu a nesmí k nim být přístupováno až do doby než je zařízení nakonfigurováno.

Roury

Roura (USB pipe) je spojení mezi endpointem na straně zařízení a softwarem na straně hostitele. Roury reprezentují schopnost přenosu dat mezi bufferem v programu hostitele a endpointem v zařízení. Jsou dva navzájem se vylučující komunikační módy rour:

Roura, nazývaná Defaultní řídicí roura (default control pipe), je vytvořena v okamžiku připojení zařízení do systému a je pevně spojena s endpointy 0. Případné další roury jsou vytvořeny v okamžiku nakonfigurování USB zařízení. Řídicí roura je používána systémovým SW k identifikaci zařízení a jeho nastavení. Může být rovněž použita k přenosu některých informací po inicializaci, pokud je tak zařízení navrženo. USB systém si ovšem ponechává "vlastnictví" této roury a zprostředkovává případné použití této roury klientským SW.

Klientský software požaduje přenos dat tím, že pošle rouře IRP (I/O Request Packet, paket s požadavkem na vstup/výstup dat). Detaily IRP definuje konkrétní operační systém podle svých zvyklostí. Specifikace USB používá tento termín pro zjednodušení popisu požadavku klientského SW na přesun dat mezi jím samým a koncovým bodem zařízení v požadovaném směru. Klientský SW může rovněž požádat o storno všech čekajících IRP. Systém informuje klienta o výsledku jeho IRP ve chvíli, kdy je tento proveden, ať již úspěšně nebo neúspěšně.

Proudové roury přenášejí data, která nemají nijak standardizovanou strukturu. Data, která na jedné straně vsupují do roury, na druhé straně beze změny vystupují ve stejném pořadí. Proudové roury jsou vždy jednosměrné a data jsou v nich přenášena v sekvenčním pořadí.

USB předpokládá, že data, přenášená proudovou rourou, jsou zpracovávána jedním klientem. USB software nijak nesynchronizuje přístup více klientů k jedné rouře.

Proudová roura je připojena k endpointu, určenému svým číslem a směrem přenosu. Endpoint se stejným číslem, ale v opačném směru, může být použit pro další rouru. Proudové roury slouží k hromadným, izochronním a přerušovacím přenosům.

Roury zpráv (message pipes) pracují s endpointem jiným způsobem než proudové roury. Nejprve hostitel zašle zařízení požadavek. Následuje přenos dat v požadovaném směru a posléze je přenesena informace o stavu. Roury zpráv dodržují určitou strukturu dat, která umožňuje identifikaci příkazů a požadavků, čímž je zajištěno dodržení paradigmatu požadavek/data/stav. Tyto roury zároveň umožňují obousměrnou komunikaci, ačkoli komunikaci vždy zahajuje hostitel. Defaultní řídicí roura je vždy tohoto typu.

Převzato z adresy <http://hw.cz/Rozhrani/>

Detailnější popis USB viz adresa <http://hw.cz/Rozhrani/ART1244-USB-2.0---dil-2.html>