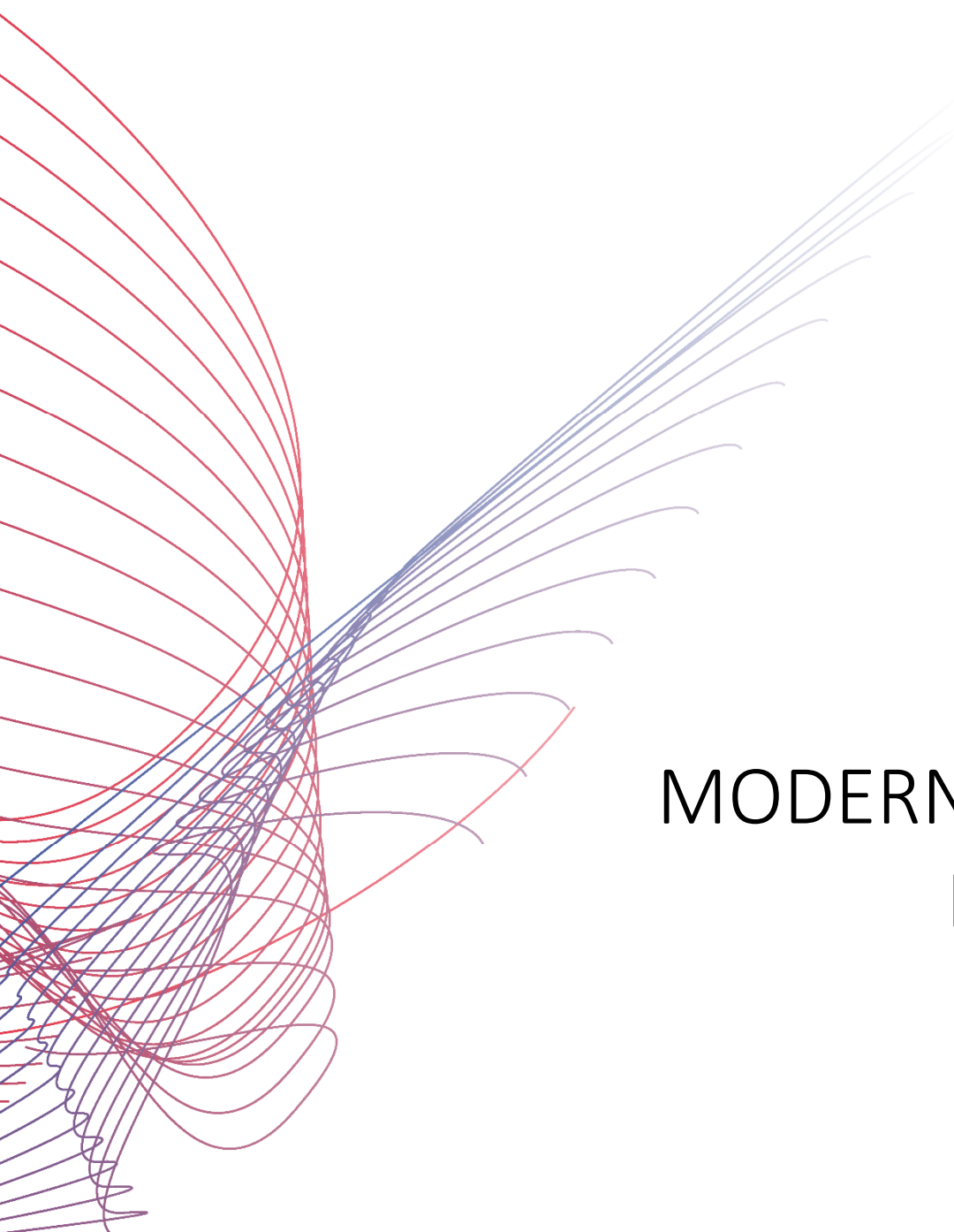




TECH pedia



MODERNÍ DATOVÁ ROZHRANÍ

IVAN PRAVDA

Název díla: Moderní datová rozhraní
Autor: Ivan Pravda
Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktní adresa: Technická 2, Praha 6
Tel.: +420 224352084
Tisk: (pouze elektronicky)
Počet stran: 36
Edice (vydání): 1. vydání, 2017
ISBN 978-80-01-06266-1

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>

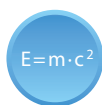


Tento projekt byl realizován za finanční podpory
Evropské unie.

Za obsah publikací odpovídá výlučně autor.

Publikace (sdělení) nereprezentují názory Evropské
komise a Evropská komise neodpovídá za použití
informací, jež jsou jejich obsahem.

VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

ANOTACE

Nová verze rozhraní USB 3.0, jejíž standardy byly vydány v listopadu 2008, doznala oproti předchozí verzi (2.0) značných vylepšení. Hlavními přednostmi nového rozhraní jsou vysoká rychlost až 5 Gbit/s, rozšířené možnosti řízení spotřeby sběrnice a zpětná kompatibilita s předchozími verzemi. Velmi perspektivním a konkurenci schopným rozhraním se v současnosti jeví technologie Thunderbolt, kombinující vlastnosti rozhraní PCI-Express a Display Port. Zajímavé je srovnání právě s rozhraním USB 3.0.

CÍLE

Student se seznámí se základními principy a vlastnostmi perspektivních rozhraní USB 3.0 a Thunderbolt. Získá znalost způsobu fungování rozhraní prostřednictvím popisu jednotlivých vrstev jejich modelů. Hlavní důraz je kladen na protokolovou vrstvu. Modul také popisuje rozdíly oproti předchozím verzím rozhraní a zpětnou kompatibilitu s nimi.

LITERATURA

- [1] HP, Intel, Microsoft, NEC, ST-Ericsson, Texas Instruments. *Universal Serial Bus 3.0 Specification* [online]. 2011, 2011-01-05 [cit. 2012-01-06]. Dostupné z: <http://www.usb.org/>. 531 stran.
- [2] INTEL CORPORATION. Thunderbolt Technology [online]. Intel corp., 2011. [2013-01-16]. Dostupné z: http://download.intel.com/newsroom/kits/research/2011/pdfs/IntelThunderbolt_Overview.pdf
- [3] Martínek, T.: Architektura sběrnic PCI, PCI-X a PCI Express. [online]. [2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.europen.cz/Proceedings/35/pci.pdf>
- [4] Thunderbolt Technology Community [online]. Intel corp. (2013) [2013-01-27] Dostupné z: <https://thunderbolttechnology.net/>

Obsah

1	Přehled perspektivních vysokorychlostních datových rozhraní.....	6
2	Rozhraní USB 3.0 SuperSpeed.....	8
2.1	Úvod do problematiky.....	8
2.2	Základní vlastnosti rozhraní USB 3.0.....	10
2.3	Architektura rozhraní USB 3.0.....	11
2.4	Modely datových přenosů.....	14
2.5	Shlukový přenos dat (Bursting).....	15
2.6	Pakety rozhraní USB SuperSpeed.....	17
2.7	Typy datových přenosů.....	18
2.8	Konektory rozhraní USB 3.0.....	20
2.9	Kabeláž rozhraní USB 3.0.....	22
2.10	Možnosti napájení.....	24
2.11	Inventarizace sběrnice.....	26
2.12	Koncové zařízení USB 3.0.....	27
2.13	Rozbočovač rozhraní USB 3.0.....	28
2.14	Možnosti využití rozhraní USB 3.0.....	29
3	Rozhraní Thunderbolt.....	30
3.1	Charakteristiky rozhraní.....	30
3.2	Architektura rozhraní.....	32
3.3	Přenos dat.....	35

1 Přehled perspektivních vysokorychlostních datových rozhraní

Datová rozhraní se dají podle fyzických médií, která přenášejí data mezi hostitelem a připojeným zařízením, rozdělit do několika kategorií. Nejpoužívanějšími kategoriemi jsou:

- metalická rozhraní,
- optická rozhraní,
- a bezdrátová rozhraní.

Každé z výše uvedených typů rozhraní má své klady a zápory, jež určují převládající způsob jejich využívání. Obecně se dá říci, že hlavními parametry při výběru typu rozhraní jsou **cena** (výhoda metalických rozhraní), **rychlost** (výhoda optických rozhraní) a **mobilita** (výhoda bezdrátových rozhraní).

Rozhraní USB patří mezi metalická rozhraní a je jedním z nejrozšířenějších hlavně díky své nízké ceně a vysoké rychlosti. Jeho hlavní konkurent, rozhraní Firewire nikdy nedosáhlo takového rozšíření, především kvůli vyšší ceně při obdobné rychlosti.

V dnešní době se jako nejvážnější konkurence pro rozhraní USB 3.0 jeví rozhraní Thunderbolt, v nynější verzi metalické, nabízející vyšší přenosové rychlosti při menší režii a širší možnosti vývoje do budoucna (počítá se totiž i s optickou verzí). Rozhraní Thunderbolt je v podstatě externí variantou sběrnice PCI Express a již nyní je využito v několika produktech firmy Apple (např. pro připojení monitorů).

Výhody rozhraní Bluetooth tkví především v mobilitě připojených účastníků a v rychlosti jeho implementace. Jelikož se jedná o bezdrátové rozhraní, jsou často zmiňovány právě tyto dva benefity v porovnání s klasickými „pevnými“ rozhraními.

Srovnání parametrů vybraných typů současných rozhraní

Rozhraní	Přenosová rychlost	Dosah	Typ rozhraní
USB 3.0	Až 5 Gbit/s	cca 3 m	Metalické
USB 2.0	Až 480 Mbit/s	5 m	Metalické
Firewire 800	Až 3,2 Gbit/s	10 m	Metalické
Thunderbolt	Až 10 Gbit/s	3 m	Metalické/Optické
Bluetooth 2.0	Až 3 Mbit/s	Základní 10 m	Bezdrátové
HDMI 1.4	Až 10,2 Gbit/s video	cca 10m	Metalické
Wi-Fi (802.11n)	Až 600 Mbit/s	Stovky m	Bezdrátové
PCI Express 3.0	Až 256 Gbit/s pro 16xlink	-	Metalické
eSATA	Až 3 Gbit/s	2 m	Metalické

2 Rozhraní USB 3.0 SuperSpeed

2.1 Úvod do problematiky

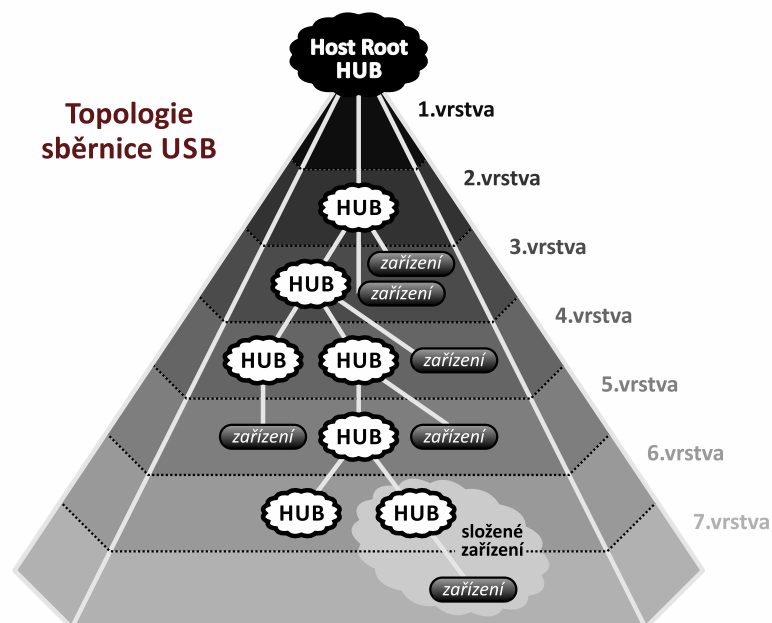
$E=m \cdot c^2$

Rozhraní **USB** (*Universal Serial Bus*) je sériové rozhraní typu sběrnice. Mezi jeho klíčové přednosti patří především:

- nízká cena,
- relativně vysoká přenosová rychlost (závislé na konkrétní specifikaci),
- plná podpora přenosu audio a video dat přenášeny v reálném čase,
- dynamická rozšiřitelnost (podpora Plug&Play, tj. bez restartu zařízení a instalace ovladačů)
- a přenos napájení po sběrnici (stejnoseměrné napájení 5 V, odběr až 100 mA (max. 500 mA)).



Všechna zařízení připojená na rozhraní USB mezi sebou sdílí celou šířku přenosového pásma. Samotná sběrnice USB je pak řízena jedním centrálním zařízením (*Host Root HUB*), které koordinuje vysílání a příjem dat, resp. součinnost ostatních USB zařízení. V cestě mezi řídicím (centrálním) zařízením USB a jakýmkoliv jiným USB zařízením může být maximálně pět rozbočovačů (HUB). Maximální délka kabelu mezi dvěma USB zařízením je omezena na 5 metrů.



Topologie klasické sběrnice USB



Jednotlivá USB zařízení na sběrnici jednoznačně identifikuje tzv. USB adresa, která je přidělena ihned po připojení zařízení k danému rozhraní. Na sběrnici je možné připojit až 127 zařízení.

Rychlostní režimy přenosu dat



- extrarychlostní režim přenosu dat (*Super Speed*) – rychlost až 4,8 Gbit/s, specifikace USB 3.0
 - vysokorychlostní režim přenosu dat (*High Speed*) – rychlost až 480 Mbit/s, specifikace USB 2.0
 - plněrychlostní režim přenosu dat (*Full Speed*) – rychlost až 12 Mbit/s, specifikace USB 1.1
 - nízkorychlostní režim přenosu dat (*Low Speed*) – rychlost až 1,5 Mbit/s, specifikace USB 1.1
-

Jednotlivé typy USB zařízení

- rozbočovač USB (*USB HUB*) – slouží k rozšíření (prodloužení) sběrnice USB
- koncové zařízení USB – zařízení využívající vlastní funkcionality rozhraní USB pro přenos dat, resp. výměnu informací.

2.2 Základní vlastnosti rozhraní USB 3.0

Nová verze rozhraní USB 3.0, nazvaná *SuperSpeed*, byla vytvořena v listopadu 2008. Její zavedení do praxe ovšem zabralo téměř tři roky. Rozhraní USB 3.0 je následovník rozhraní USB verze 2.0 a má mnoho společných vlastností s předchozími verzemi rozhraní USB, neboť jedním z hlavních požadavků při jeho vývoji byla zpětná kompatibilita. Jaké tedy nová verze **USB** nabízí výhody oproti předchozím verzím?

+

- vyšší přenosová rychlost – až 5 Gbit/s
- plná zpětná kompatibilita (s výjimkou některých konektorů)
- rozšířené možnosti řízení spotřeby
- až 80% nárůst možného odběru energie ze sběrnice
- pakety jsou po sběrnici směrovány (tj. jedná se selektivní o směrování dat ke konkrétnímu zařízení dle jeho adresy)

Samozřejmě nová verze rozhraní USB nemá jen výhody, avšak tyto nad nedostatky převládají. Mezi hlavní nevýhody patří:

-

- zvýšení počtu vodičů v kabelu
- vyšší náchylnost vůči elektromagnetickému rušení **EMI** (*Electromagnetic Interference*), která souvisí s využíváním více vodičů v kabelu a vyšší modulační rychlostí
- některé typy konektorů omezují zpětnou kompatibilitu

Mluvíme-li o nové verzi sběrnice USB, je nutné poznamenat, že se v podstatě jedná o vedle sebe stojící sběrnici **USB 2.0** a novou sběrnici USB Superspeed. Tento fenomén je podrobněji popsán dále.



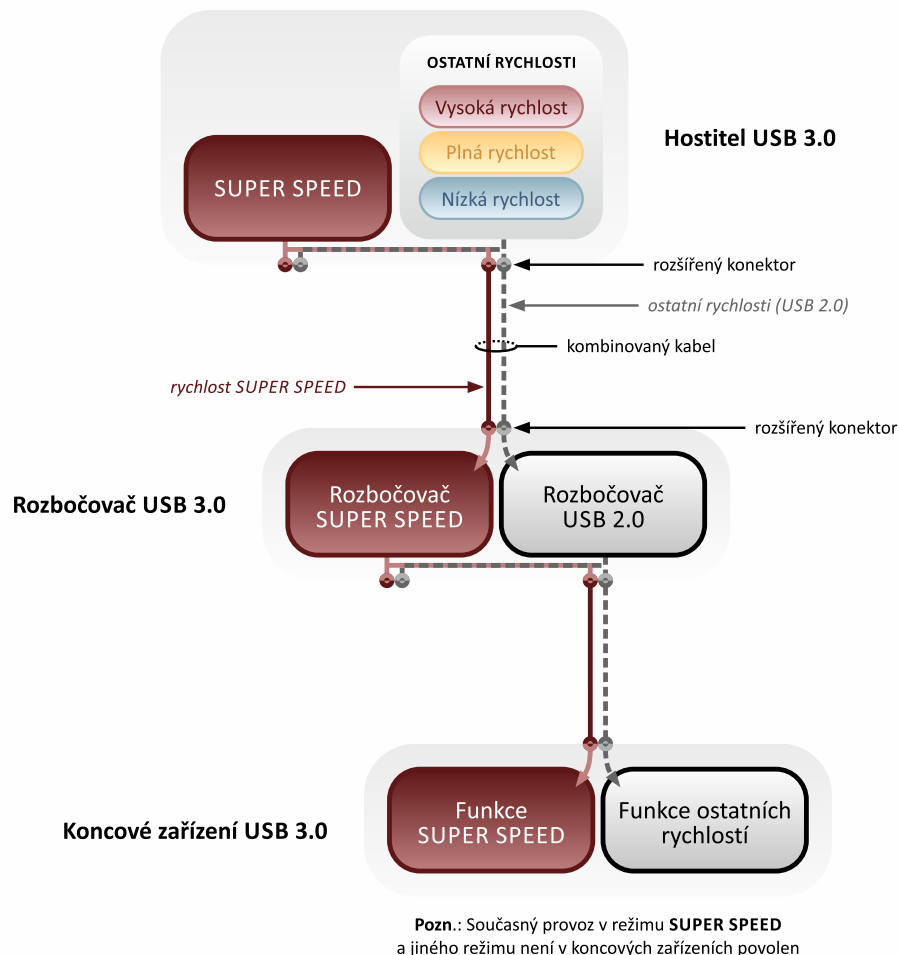
Rozhraní USB ve verzi 3.0 výrazně rozšiřuje možnosti a uplatnění předchozích verzí rozhraní USB.

i

Od července roku 2013 je připravována inovovaná verze rozhraní USB ve verzi 3.1 (USB 3.1 Gen 2). Tato verze bývá označována jako *SuperSpeed+*. Výhodou nové generace rozhraní USB má být jeho rychlost (až 10 Gbit/s) a snížení režie při kódování signálu. Rozhraní má být zpětně kompatibilní s rozhraním USB 3.0, tj. lze využít zařízení a rozbočovače pro USB 3.0 a USB 2.0.

2.3 Architektura rozhraní USB 3.0

Obdobně jako u rozhraní USB 2.0 jsou základními prvky architektury hostitel, rozbočovač a koncové zařízení. Hlavní rozdíl oproti verzi USB 2.0 je paralelní zapojení dvou fyzických sběrnic, konkrétně USB 2.0 a nové USB SuperSpeed.



Architektura rozhraní USB 3.0 SuperSpeed



Volbou této architektury je vyhověno požadavku na zpětnou kompatibilitu, neboť hostitel a rozbočovač umožňují současný provoz obou fyzických sběrnic prostřednictvím kombinovaných kabelů a konektorů. Koncové zařízení pak podle svých možností využívá buď část sběrnice USB 2.0, nebo USB SuperSpeed.



Obdobně je zachována fyzická topologie sběrnice, resp. stromová struktura, kde se v kořeni nachází hostitel, ke kterému může být připojen větší počet koncových zařízení či rozbočovačů.

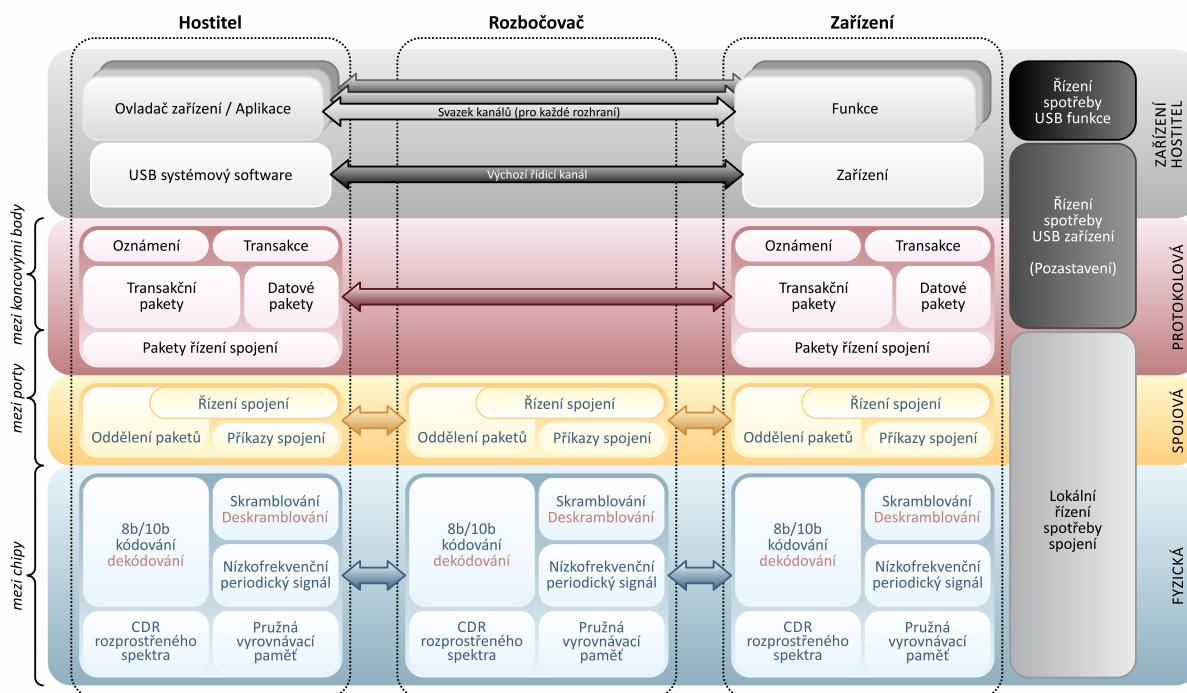


Rozbočovače pak mohou dále poskytovat připojení dalším koncovým zařízením nebo dalším rozbočovačům.

Srovnání USB SuperSpeed a USB 2.0

Vlastnost	USB SuperSpeed	USB 2.0
Datové kanály	dva simplexní – současný obousměrný tok dat, dva vodiče na směr (celkem 4)	poloduplexní – jednosměrný tok s vyjednáváním změnou směru, dva vodiče
Rychlost	SuperSpeed – 5 Gbit/s	Podle režimu 1,5 – 480 Mbit/s
Protokol přenosů	Asynchronní tok dat řízený hostitelem, směrované pakety	Hostitel přiděluje datový tok (polling), pakety vysílány všesměrově
Řízení spotřeby	Na úrovni spojení, zařízení a funkce, několik stavů	Na úrovni spojení a zařízení, pouze stav pozastavení
Napájení sběrnice	Obdobně jako u USB 2.0, vyšší limity (o 50 % pro nekonfigurovaná a 80 % pro konfigurovaná zařízení)	Nízko a vysokovýkonová zařízení, nižší limit pro nekonfigurovaná zařízení

Každé propojení mezi hostitelem a zařízením (případně s rozbočovači) lze znázornit pomocí tzv. komunikačních vrstev. Na následujícím obrázku je diagram, který popisuje jednotlivé vrstvy propojení (viz řádky), jejich prvky v jednotlivých částech topologie (viz tři levé sloupce) a vliv řízení spotřeby (viz pravý sloupec).



Komunikační vrstvy sběrnice SuperSpeed



Rozhraní USB 3.0 je duální sběrnice (*Dual Bus Architecture*), která je paralelním spojením USB 2.0 a nové sběrnice USB SuperSpeed. Díky této koncepci bude možné používat koncová zařízení USB 2.0 na řadičích USB 3.0. Na jednom koncovém zařízení však není možné používat obě sběrnice najednou.

2.4 Modely datových přenosů



Rozhraní USB SuperSpeed přebírá modely datových přenosů od rozhraní USB 2.0. Výměna dat mezi koncovým zařízením a hostitelem probíhá prostřednictvím tzv. kanálů (*pipes*). Datové přenosy jsou tak realizované mezi koncovým bodem zařízení přidruženým k funkci a softwarem hostitele.

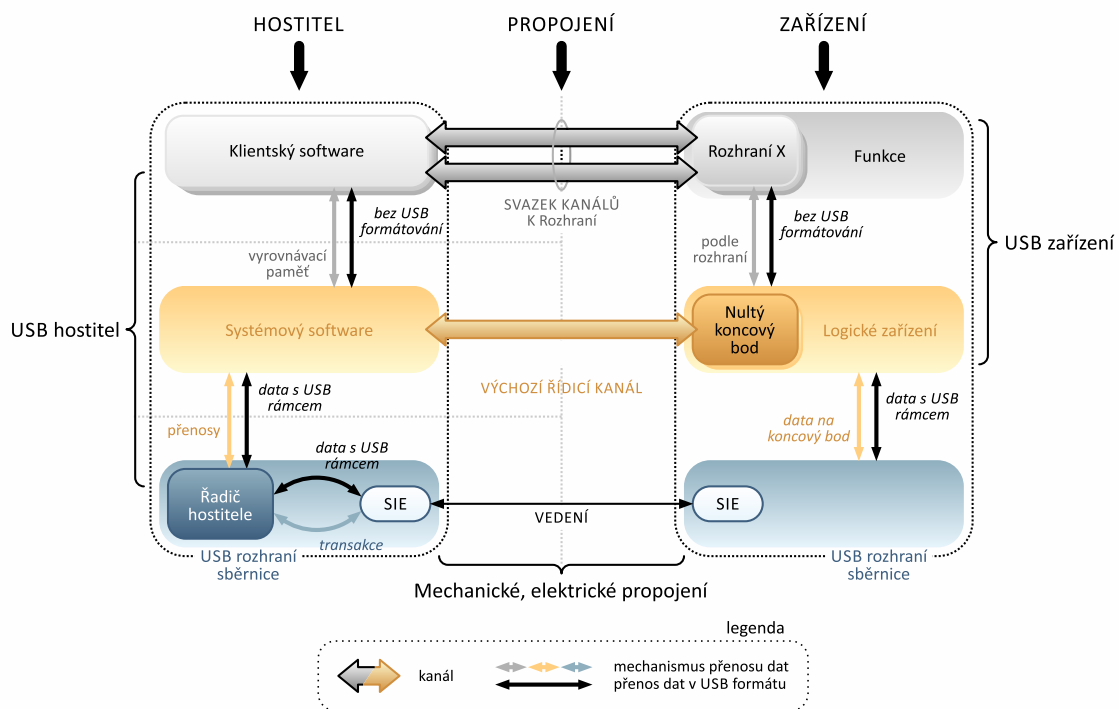


Samozřejmě mluvíme o logickém propojení, fyzické spojení tvoří vždy pouze jediný kabel.

Kromě výchozího řídicího kanálu a koncového bodu jsou všechny kanály a koncové body vytvářeny při konfiguraci zařízení a podporují jeden ze čtyř typů přenosu – objemový přenos, řídicí přenos, synchronní přenos a přenos s přerušením.



Stejně jako u rozhraní USB 2.0 existují dva druhy kanálů – proudové kanály (nemají strukturu danou rozhraním **USB**) a kanály zpráv (jejich formát je definován rozhraním **USB**).



Model datových přenosů na USB



Závěrem lze tedy konstatovat, že komunikace na sběrnici **USB** probíhá mezi hostitelským softwarem a koncovým bodem zařízení přes tzv. virtuální kanály.

2.5 Shlukový přenos dat (Bursting)



Shlukový přenos dat je nová funkce USB SuperSpeed, zvyšující efektivitu přenosů odstraněním času, po který se čeká na potvrzení každého datového paketu. Každý koncový bod zařízení SuperSpeed uvádí ve svém popisovači maximální počet paketů, které může přijmout nebo odeslat, aniž by čekal na jejich potvrzení (stav).



Hostitel může dynamicky měnit počet paketů ve shluku pro každou transakci podle svých potřeb (nemůže však přesáhnout maximální velikost shluku pro daný koncový bod). V případě OUT transakcí pak hostitel omezuje velikost shluku jednoduše, při IN transakcích ji nastavuje pomocí pole v potvrzovacích paketech **ACK** (*ACKnowledge*).



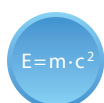
Shlukový přenos dat je tedy funkce sběrnice SuperSpeed umožňující odeslat více datových paketů najednou, aniž by se čekalo na potvrzení jejich doručení.

1. IN PŘENOSY

Při IN přenosu koncové zařízení posílá data hostiteli. Tyto přenosy zahajuje hostitel posláním potvrzujícího IN paketu koncovému zařízení, který je pomocí obsažených informací směrován ke koncovému zařízení. Součástí je také informace o očekávaném sekvenčním čísle paketu a počtu očekávaných paketů. Jako odpověď hostiteli posílá koncové zařízení datové pakety s odpovídajícími sekvenčními čísly.



Přestože hostitel musí potvrdit potvrzovacím **ACK** paketem každý přijatý datový paket, koncové zařízení může odeslat všechny vyžádané datové pakety bez čekání na jejich potvrzení.



SuperSpeed IN přenos se skládá s jedné nebo více IN transakcí obsahujících jeden nebo více paketů. Je ukončen, pokud byla všechna data přenosu úspěšně přijata, koncový bod odešle paket, jehož velikost je menší než maximální pro daný koncový bod nebo koncový bod odpoví chybou.

2. OUT PŘENOSY

Při OUT přenosu hostitel posílá data ke koncovému zařízení. Hostitel zahajuje OUT přenos odesláním souvislého sledu datových paketů koncovému zařízení. Každý datový paket obsahuje informace potřebné ke směrování paketu a sekvenční číslo daného paketu. Koncové zařízení odpovídá potvrzovacím **ACK** paketem obsahujícím sekvenční číslo dalšího očekávaného paketu, který zároveň potvrzuje úspěšné přijetí paketu předchozího.



Podobně jako u IN přenosu musí koncové zařízení posílat potvrzovací **ACK** paket za každý přijatý datový paket, ale hostitel na tyto potvrzování **ACK** pakety nemusí čekat.



SuperSpeed OUT přenos se skládá z jedné nebo více OUT transakcí obsahujících jeden nebo více paketů. Je ukončen, pokud byla všechna data přenosu úspěšně odeslána, hostitel odešle paket, jehož velikost je menší než maximální pro daný koncový bod nebo koncový bod odpoví chybou.

2.6 Pakety rozhraní USB SuperSpeed



Všechny pakety rozhraní USB SuperSpeed začínají 16-ti bitovým záhlavím, které může tvořit celý paket. Záhlaví paketu začíná informací o typu paketu, která je použita ke zjištění způsobu nakládání s paketem. Záhlaví paketu je chráněno 16-ti bitovým kódem **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*) a končí dvoubytovým řídicím slovem. Většina typů paketů také obsahuje směrovací informace použité při směrování paketu od hostitele.



Na rozhraní USB SuperSpeed existují čtyři druhy paketů:

- paket správy spojení **LMP** (*Link Management Packet*) je posílán jen mezi dvěma přímo spojenými porty a je určen k řízení tohoto spojení
 - transakční paket **TP** (**Transaction Packet**) prochází všemi spojeními na přímé cestě mezi zařízením a hostitelem, je používán k řízení toku datových paketů, konfiguraci zařízení a rozbočovačů, je tvořen pouze záhlavím
 - datový paket **DP** (*Data Packet*) taktéž prochází všemi spojeními na přímé cestě mezi zařízením a hostitelem, má dvě části – záhlaví datového paketu (podobné transakčnímu paketu) a uživatelská data datového paketu (obsahují datový blok a 32-ti bitový kód **CRC**)
 - izochronní časovací paket **ITP** (*Isochronous Timestamp Packet*) je paket posílaný metodou multicast na všechna spojení v aktivním stavu
-



Rozhraní USB SuperSpeed využívá čtyři druhy paketů – paket správy spojení **LMP**, transakční paket **TP**, datový paket **DP** a izochronní časovací paket **ITP**.

2.7 Typy datových přenosů

$E=m \cdot c^2$

Datové přenosy jsou složeny z jedné nebo více transakcí, které jsou realizovány pomocí paketů. Jednotlivé typy datových přenosů následně odpovídají použitým typům paketů.

1. ŘÍDICÍ PŘENOS

Účel a funkce řídicího přenosu je prakticky totožná s rozhraním USB 2.0, umožňuje komunikaci mezi softwarem hostitele a koncovým zařízením pro účely konfigurace, ovládání a zjišťování stavu.

Řídicí přenos využívá kanály zpráv, každé zařízení musí podporovat výchozí řídicí kanál. Řídicí přenosy mají největší prioritu na sběrnici, obdobně jako u rozhraní USB 2.0 nelze požadovat konkrétní šířku pásma. Maximální délka užitečných dat je 512 bytů a nelze využít shlukování.

2. OBJEMOVÝ PŘENOS

Stejně jako u řídicího přenosu funguje objemový přenos podobně jako na rozhraní USB 2.0. Je určen pro koncová zařízení, která potřebují přesunovat relativně velké objemy dat. Využívá jakoukoliv dostupnou šířku pásma (nízká priorita), například pro kopírování dat na externí disk.

Objemový přenos garantuje doručení dat, avšak nezaručuje šířku pásma a zpoždění. Využívá proudové kanály, takže nejsou kladeny žádné požadavky na strukturu dat. Proudové kanály jsou jednosměrné, pro obousměrný tok dat jsou potřeba dva (IN a OUT). Objemový přenos může být rozdělen na více transakcí.

3. OBJEMOVÝ PŘENOS S PROUDY (STREAMS)

Jedná se o zcela nový typ přenosu na rozhraní USB SuperSpeed. Standardní kanál pro objemový přenos představuje schopnost přesunu jednoho proudu dat typu **FIFO** (*First In First Out*) mezi hostitelem a koncovým zařízením přes paměťový zásobník hostitele a koncovým bodem zařízení. SuperSpeed proudy (*SuperSpeed Streams*) poskytují podporu pro víceproudý model na úrovni protokolu. Proudů mezi hostitelem a koncovým zařízením spravuje tzv. proudový protokol. Každému proudu je přiděleno ID proudu **SID** (*Stream ID*).

$E=m \cdot c^2$

Proudový protokol definuje stavové zprávy, které umožní hostiteli nebo koncovému zařízení ustanovit aktuální ID proudu **CSID** (*Current Stream ID*) koncového bodu. Hostitel používá **CSID** k výběru vyrovnávací paměti koncového bodu, který bude použit při následných přenosech na kanálu. Koncové zařízení používá **CSID** k výběru vyrovnávací paměti dat funkce.

i

SuperSpeed proudy umožňují, aby koncové zařízení využilo více vyrovnávacích pamětí hostitele (standardně pouze jedné). V případě selhání standardního objemového kanálu, který SuperSpeed proudy využívají, dojde k přerušení proudů.

SuperSpeed proudy rozšiřují možnosti objemových přenosů s minimální změnou v hardware. Využití může být například u zařízení USB Mass Storage.

4. PŘENOS S PŘERUŠENÍM

Obdobně jako na rozhraní USB 2.0 je přenos s přerušením určen pro koncová zařízení, která vyžadují vysokou spolehlivost přesunu malého množství dat v omezeném obslužném intervalu, například myš nebo klávesnice. Hostitel v pravidelných intervalech požaduje data a koncové zařízení je podle svých možností poskytuje.

Přenos s přerušením zaručuje maximální obslužný interval (zpoždění dat). Používá proudové kanály, takže data nemusejí mít definovaný formát a kanál je jednosměrný. Přenosům s přerušením může být přiděleno až 90 % dostupné šířky pásma. Koncový bod může ve svém popisovači požadovat obslužný interval v násobcích 125 μ s. Umožňuje posláni tři paketů za obslužný interval.

5. SYNCHRONNÍ PŘENOS

Synchronní přenos a jeho účel se oproti rozhraní USB 2.0 nemění. Slouží ke streamování dat, tj. pro periodické přenosy s omezeným obslužným intervalem a tolerancí chyb, umožňující soustavný tok dat. Rozhraní USB SuperSpeed využívá k synchronizaci izochronní časovací pakety **ITP**.

Synchronní přenos zaručuje šířku pásma pro přenosy s omezeným zpožděním a je taktéž zaručena požadovaná šířka pásma udaná v popisovači. Synchronní kanály jsou proudové s jednosměrným tokem dat. Kvůli možnému zpoždění přenosu způsobenému řízením spotřeby hostitel před zahájením přenosu posílá transakční paket zařízení (*PING*), čímž dojde k uvedení všech spojení na cestě do aktivního stavu. Maximální šířka pásma a obslužné intervaly jsou shodné s přenosem s přerušením. Synchronní přenos umožňuje až tři shlukové přenosy po 16-ti paketech za obslužný interval.

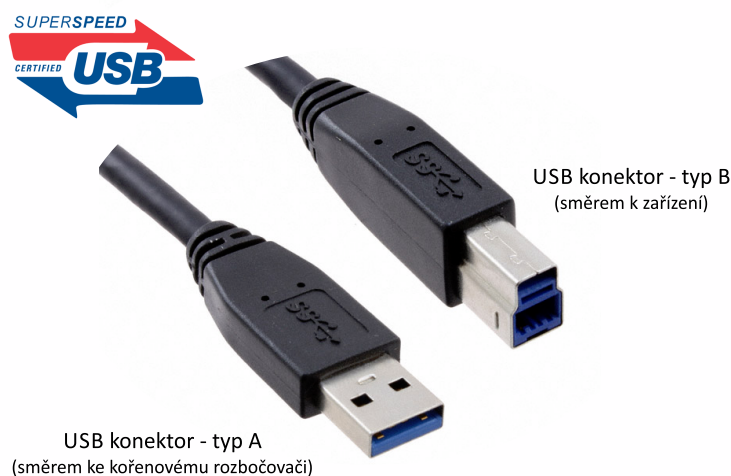


Stejně jako na rozhraní USB 2.0 existují čtyři základní druhy přenosů – řídicí přenos, objemový přenos, přenos s přerušením a synchronní přenos. Rozhraní USB SuperSpeed navíc nabízí rozšíření objemového přenosu o tzv. SuperSpeed proudy.

2.8 Konektory rozhraní USB 3.0

Konektory rozhraní USB 3.0 byly vyvinuty na základě požadavků vyšší rychlosti, omezení vlivu elektromagnetického rušení, podpory mobility a nízké ceny. To vše při zachování maximální kompatibility s rozhraním USB 2.0. Specifikace rozhraní USB 3.0 definuje stejné typy konektorů jako rozhraní USB 2.0 až na jeden nový - napájený konektor typu B.

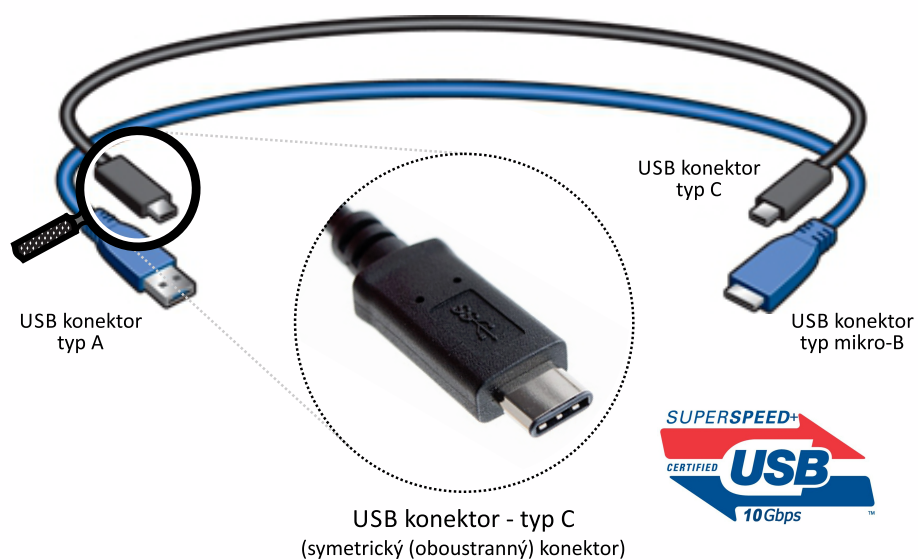
1. standardní konektor typu A – asi nejpoužívanější konektor, konektor hostitele, tvar a rozměry jsou shodné s odpovídajícím konektorem USB 2.0, ovšem s přidanými kontakty pro další dva datové páry a uzemnění; poskytuje úplnou zpětnou kompatibilitu, pro rozlišení by se mělo používat odpovídající zbarvení, jak je patrné z následujícího obrázku.
2. standardní a napájený konektor typu B – určeny pro připojení větších stacionárních zařízení, neposkytuje úplnou zpětnou kompatibilitu, konektor je kvůli přidaným kontaktům větší, lze tedy zapojit USB 2.0 vidlici do zástrčky USB 3.0, ale naopak to možné není; napájený konektor se liší pouze dalšími dvěma přidanými kontakty, umožňujícími zařízení poskytnout napájení.



Standardní vidlice typů A a B

3. mikrokonektory typu A a B – určeny pro relativně malá a lehká zařízení, čemuž odpovídá i jejich velikost a tudíž stejně jako konektory typu B neposkytují úplnou zpětnou kompatibilitu; existují zástrčky typu B a typu AB, do zástrčky typu AB je možné zapojit vidlice typu A i B, do zástrčky typu B pak jen vidlici typu A.
4. konektor typu C – jedná se o nový univerzální konektor pro rozhraní USB, který je mechanicky symetrický (tj. není nutné rozlišovat směr propojení). Uvnitř kabelu je uspořádáno 24 vodičů pro napájení, data USB 2.0, 2× data USB 3.0,

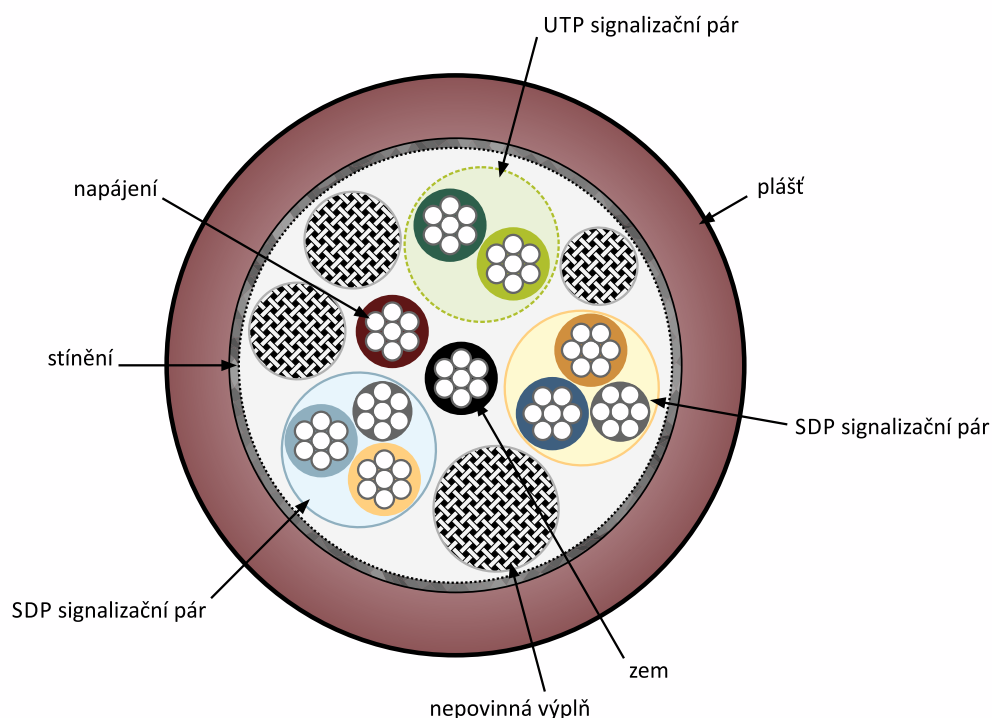
konfigurační póly a póly pro další účely. Volitelnou možností je tzv. aktivní kabel (obsahuje čip). Napájení je klasické 5 V s proudem až 3 A (maximálně 20 V s proudem 5 A). Rozměry konektoru jsou 8,4×2,6 mm. Nový konektor implicitně podporuje i alternativní přenosové protokoly.



Symetrický USB konektor typu C

2.9 Kabeláž rozhraní USB 3.0

Následující obrázek znázorňuje průřez kabelem specifikace USB 3.0. Patrné jsou tři skupiny vodičů – signalizační pár **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*), křížené páry (stíněné diferenciální páry **SDP** (*Shielded Differential Pairs*)) a napájecí a zemní vodiče.



Průřez kabelem specifikace USB 3.0



UTP je určen pro přenos signálů USB 2.0, **SDP** jsou pro specifikaci USB SuperSpeed. Jak je patrné z názvu, **SDP** mají vlastní stínění kvůli integritě signálu a omezení rušení **EMI**. Navíc je ke každému stíněnému páru přidán další vodič, označovaný jako *DRAIN*, který je připojen na uzemněný pin v konektoru (odlišný od zemnění napájení, označován *GND_DRAIN*).

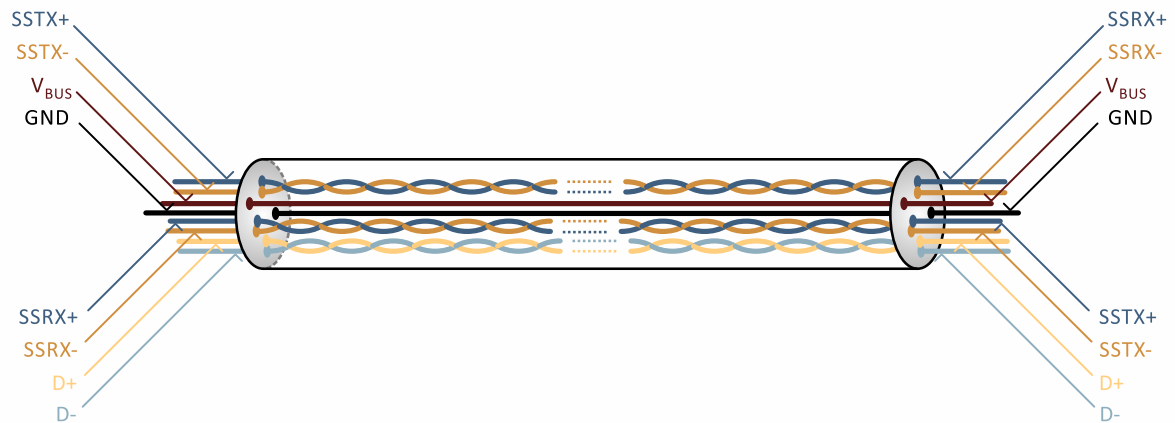


Schéma kabelu specifikace USB 3.0



Stínění uzavírající všechny vodiče je realizováno metalickým opletením připojeným ke kovové části vidlice, a slouží k zachycení **EMI** rušení. Barvy v obrázcích odpovídají barvám izolací vodičů.



Délka kabelů není specifikací omezená, avšak je limitovaná ztrátami na sestavení a poklesem napětí na délce vodiče. Tyto ztráty pro kabel nesmí překročit hranici 20 dB. To odpovídá maximální doporučené délce kabelu maximálně 3 m.

2.10 Možnosti napájení

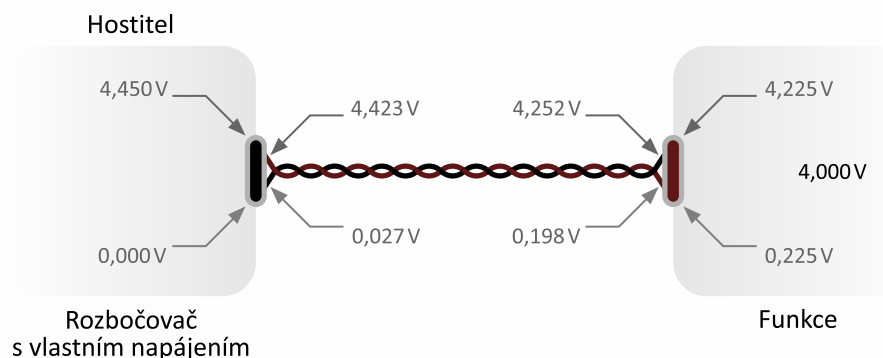
Rozhraní USB 3.0 poskytuje napájení prostřednictvím dvou konektorů - standardního konektoru „typ A“ a napájeného konektoru „typ B“. Napájení přes standardní konektor typu A má obdobné vlastnosti jako u rozhraní USB 2.0. Opět je pro zjednodušení definováno jednotkové zatížení, v případě rozhraní USB SuperSpeed je však proud jednotky navýšen na 150 mA. Rozhraní USB obsahuje několik typů zdrojů a spotřebičů:

- kořenový rozbočovač – je připojen přímo na řadič USB hostitele, porty hostitele připojeného ke zdroji napětí musí dodávat alespoň 6 jednotek zátěže, resp. porty hostitele, jehož zdrojem je baterie, mohou dovolovat zatížení jen 1 jednotky
- rozbočovač s vlastním napájením – neodebírání energii potřebnou pro provoz a sestupné porty z vodiče V_{BUS} , přesto může odebírat až 1 jednotku zátěže pro funkci vzestupného portu v případě vypnutí zbytku rozbočovače, každý sestupný port pak poskytuje až 6 jednotek zátěže
- nízkovýkonové zařízení – získává všechnu potřebnou energii z vodiče V_{BUS} , neodebírání více než 1 jednotku zátěže
- vysokovýkonové zařízení – získává energii z vodiče V_{BUS} , po zapnutí může odebírat až 1 jednotku zátěže, po nakonfigurování pak až 6 jednotek
- zařízení s vlastním napájením – může odebírat maximálně 1 jednotku zatížení z vodiče V_{BUS} pro zajištění fungování portu, a to i v případě vypnutí zbytku zařízení



Žádné zařízení nesmí dodávat proud na vodič V_{BUS} vzestupného portu. Obdobně jako u rozhraní USB 2.0 musí být u hostitele a rozbočovačů s vlastním napájením zajištěna ochrana proti proudovému přetížení. Obnovení normálního fungování je možné bez zásahu uživatele.

Nejvyšší povolené úbytky napětí v rámci topologie sběrnice jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Topologie sběrnice při nejvyšším dovoleném úbytku napětí

Napájený konektor typu B byl zaveden, aby se umožnilo dalším zařízením, jako jsou např. tiskárny, připojení a napájení jiných zařízení (např. adaptérů bezdrátového USB). Tato možnost tak eliminuje potřebu externího napájení pro adaptér. Napájená zástrčka typu B musí být schopna poskytovat napětí 5 V v celém rozsahu proudu až do 1 A, poskytovat ochranu proti proudovému přetížení, dodávat maximální energii bez ohledu na stav koncového zařízení. Koncové zařízení poskytující napájení prostřednictvím tohoto konektoru musí být nízkovýkonové a koncové zařízení, které je tímto konektorem napájené nemůže poskytovat žádné standardní zástrčky typu A.

2.11 Inventarizace sběrnice

Při připojení nebo odpojení koncového zařízení ze sběrnice USB používá hostitel proces nazvaný inventarizace sběrnice k identifikaci a správě stavu koncového zařízení. Tento proces se skládá z několika následujících kroků:



1. Rozbočovač, ke kterému je zařízení připojeno, informuje hostitele o této události speciálním kanálem (koncové zařízení je v této chvíli po povelu *RESET* ve výchozím stavu, tj. nemůže odebírat více než 150 mA z V_{BUS} a odpovídá na výchozí adrese).
2. Hostitel následně určí přesnou povahu události dotazem na rozbočovač, když hostitel zná port, ke kterému je koncové zařízení připojeno, může provést opětovný povol *RESET* koncového zařízení.
3. Následně hostitel přiřadí zařízení unikátní adresu a informuje zařízení o synchronním zpoždění a několika dalších parametrech.
4. Dále proběhne čtení všech konfigurací koncového zařízení hostitelem a případné nastavení časovačů $U1/U2$ pro sestupný port, na kterém je koncové zařízení.
5. Na základě informací o konfiguracích a způsobu použití koncového zařízení určí hostitel hodnoty nutné pro nastavení koncového zařízení, které se tak dostává do stavu *NASTAVENO*, a je tak připraveno k použití.

Při události odpojení zařízení je rozbočovačem posláno oznámení a hostitel může aktualizovat místní informaci o topologii.

2.12 Koncové zařízení USB 3.0



$E=m \cdot c^2$

Všechna koncová zařízení USB 3.0 podporují společnou množinu obecných operací. Uvedme si zde alespoň jejich přehledový výčet – dynamické připojení a odpojení, přiřazení adresy, konfigurace, přenos dat, řízení spotřeby, zpracování požadavku a chyba požadavku.



$E=m \cdot c^2$

Koncová zařízení oznamují své vlastnosti pomocí tzv. popisovačů. Popisovač je datová struktura definovaného formátu. Každý popisovač začíná jednobytovým polem, obsahujícím počet bytů deskriptoru, následovaný jednobytovým polem, které určuje typ popisovače.

Každá konfigurace může používat i popisovače nebo jejich části z jiných konfigurací. Koncová zařízení mohou také mít speciální popisovače podle své třídy nebo výrobce.



Popisovače mohou být několika typů – popisovač zařízení, popisovač konfigurace, popisovač sdružených rozhraní, popisovač rozhraní, popisovač koncového bodu, popisovač koncového bodu SuperSpeed, řetězcový popisovač a binární paměť objektů zařízení **BOS** (*Binary Device Object Store*).

Popisovač **BOS** definuje kořenový popisovač, který je podobný popisovači konfigurace a je výchozím bodem pro přístup k sadě souvisejících popisovačů. Tyto popisovače se pak dále dělí na několik typů. *Bezdrátové USB* popisuje schopnosti zařízení pro rozhraní bezdrátového **USB**. *Rozšíření USB 2.0* je popisovač indikující možnost rozšířeného řízení spotřeby i ve vysokorychlostním režimu USB 2.0. *Schopnosti SuperSpeed USB zařízení* popisující například podporu různých rychlostních režimů nebo doby přechodů ze stavů U_1 a U_2 do stavu U_0 . Posledním je *ID kontejneru* obsahující identifikační číslo umožňující hostiteli identifikaci zařízení bez ohledu na režim, ve kterém koncové zařízení pracuje.

2.13 Rozbočovač rozhraní USB 3.0

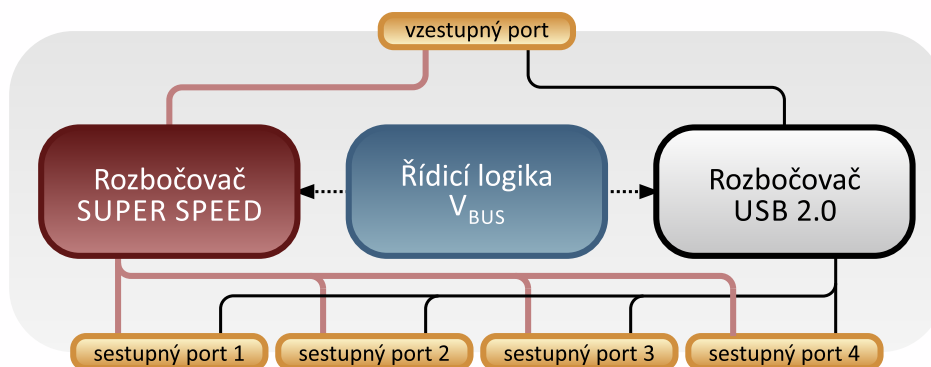
$E=m \cdot c^2$

Rozbočovače rozhraní poskytují elektrické propojení mezi hostitelem a koncovými zařízeními. Umožňují rozhraní USB být snáze k použití pro běžné uživatele. Starají se o chování při připojování zařízení, řízení spotřeby, detekci selhání sběrnice a zotavení a podporu zařízení ve všech rychlostních režimech.

Rozbočovač USB 3.0 obsahuje rozbočovač USB 2.0 a rozbočovač SuperSpeed. Rozbočovač SuperSpeed se dále skládá z opakovače a kontroléru rozbočovače:

- opakovač slouží ke zprostředkování propojení, detekci připojení a odpojení zařízení, detekci chyb a zotavení
- kontrolér zajišťuje komunikaci mezi rozbočovačem a hostitelem, která umožňuje nastavovat rozbočovač a jeho sestupné porty

Rozbočovač SuperSpeed se také stará o směrování paketů, jak je popsáno v předchozích kapitolách. Rozbočovač USB 3.0 je logickou kombinací rozbočovače USB 2.0 a rozbočovače SuperSpeed, jedinou sdílenou částí je logika, starající se o řízení V_{BUS} , jak je patrné z následujícího obrázku.



Rozbočovač USB 3.0

2.14 Možnosti využití rozhraní USB 3.0



Rozhraní USB 3.0 oproti předchozí verzi doznalo výrazného vylepšení. Patrně nejvýraznějším rozdílem je samozřejmě přenosová rychlost, která se zvýšila přibližně desetinásobně oproti předchozímu rozhraní USB 2.0. Teoreticky tak sběrnice nabízí rychlost až 5 Gbit/s, jak je patrné z vlastností fyzické vrstvy rozhraní.

Samozřejmě této rychlosti u koncových přenosů dat rozhraní nemůže dosahovat. Po započtení ztrát způsobených 8B/10B kódováním (cca 20 %) a způsobem zapouzdření dat ve spojové a protokolové vrstvě (cca 2,4 %), dostáváme nejvyšší možnou přenosovou rychlost 3,88 Gbit/s.



Specifikace udává reálně dosahované rychlosti nad 400 MB/s (3,2 Gbit/s).

V dnešní době je i 3,2 Gbit/s poměrně vysoká přenosová rychlost, kterou může rozhraní USB 3.0 směle konkurovat většině současných vysokorychlostních rozhraní. Jedním z mnoha příkladů praktického využití by mohlo být připojení zařízení využívajících tzv. flash paměti jako jsou paměťové karty, flash disky nebo aktuálně populární pevné disky **SSD** (*Solid State Disc*), které jsou schopné alespoň částečně využít nabízenou rychlost.



Uplatnění rozhraní USB 3.0 bude tedy zejména při přenosech velkých objemů dat. Více současně prováděných OUT transakcí spolu s jednou IN transakcí pak navíc znamená možnost současného využití sběrnice více zařízeními, přestože posílat data hostiteli může aktivně pouze jedno z nich. V rychlosti přenosu dat může lépe konkurovat rozhraní jako je **eSATA** (*external Serial Advanced Technology Attachment*), které doposud mělo v oblasti přenosu dat navrch.



V současné době se jako jediný vážný konkurent rozhraní USB 3.0 jeví rozhraní Thunderbolt, které ve své podstatě představuje externí sběrnici **PCI-E** (*Peripheral Component Interconnect - Express*), nabízí ještě vyšší rychlost než rozhraní USB 3.0 a navíc i možnost řetězení zařízení. V současné době se rozhraní Thunderbolt používá prakticky výhradně u produktů fy. Apple.

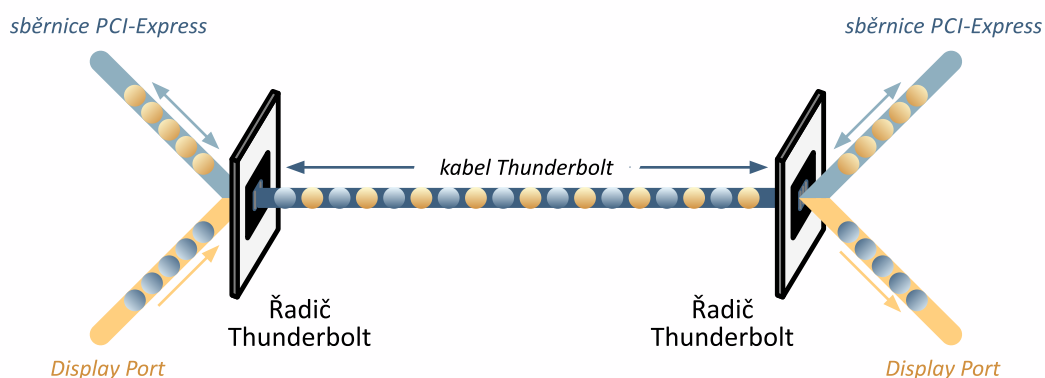
3 Rozhraní Thunderbolt

3.1 Charakteristiky rozhraní

Rozhraní Thunderbolt **TB** je rozhraní, které do světa počítačového průmyslu přináší řadu nových konstrukčních řešení, funkcí a vylepšení. Rozhraní Thunderbolt je vyvíjeno ve spolupráci společností Intel a Apple. V roce 2009 byl veřejnosti představen první prototyp tohoto rozhraní. V té době ještě nesl označení LightPeak. Prvním sériově vyráběným zařízením s rozhraním Thunderbolt byl v roce 2011 notebook MacBook Pro od společnosti Apple.



Odlišnost rozhraní Thunderbolt od ostatních rozhraní je zejména v jeho konstrukčním řešení. Skládá se z kombinace dvou různých rozhraní – externí sběrnice **PCI-E** a portu **DP** (*Display Port*). Komunikace probíhá obousměrně a spojení je plně duplexní. Pakety obou protokolů jsou přenášeny najednou po jednom spojení. Kontrolní řadič tyto pakety na straně vysílače multiplexuje do jednoho datového toku a na straně přijímače přepíná mezi jednotlivými protokoly.



Princip komunikace na rozhraní Thunderbolt



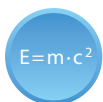
Výhodou a cílem rozhraní **TB** je vysokorychlostní připojení rozličných zařízení a podpora několika typů datových přenosů pomocí jednoho unifikovaného konektoru.



Pro tento účel byl použit upravený konektor *Mini DisplayPort*.



S teoretickou přenosovou rychlostí až 10 Gbit/s na kanál převyšuje rozhraní **TB** standardy jako **eSATA**, **USB** a **Firewire**. V porovnání se sběrnici USB 3.0 je jeho rychlost téměř dvojnásobná (v závislosti na použitém hardwaru a softwaru) a má menší nároky na režii. Reálná přenosová rychlost se pohybuje kolem hranice 6,4 Gbit/s na kanál.



K jedinému konektoru **TB** je možné připojit až sedm **TB** zařízení. Jeden port **TB** také zvládne současně přenášet data pro dva displeje s portem **DP** ve vysokém rozlišení **HD** (*High Definition*).



Pro přenos dat a napájení byly i přes počáteční plány s optickými kabely (technologie *Silicon Photonics Link*) použity pouze metalické vodiče.



Výhodou měděných párů je zvládnutí dostatečných přenosových rychlostí, výrobní cena je ve srovnání s optickými vodiči výrazně nižší a je přes ně možné bezproblémově napájet připojená zařízení až do příkonu 10W.



Jejich značnou nevýhodou je však omezená délka kabelu, která může být nejvýše tři metry.



Do budoucna se však s optickými kabely nadále počítá, zejména kvůli jejich možnostem v navýšení přenosových rychlostí až k hodnotám řádově 100 Gbit/s a výrazně větší možné délce kabelů při stálých přenosových podmínkách.



Společnost Intel slibuje přenesení dvouhodinového videa ve Full HD rozlišení do 30 sekund a přenesení záznamů ve formátu mp3 trvajících jeden rok za 10 minut.

3.2 Architektura rozhraní

$E=m \cdot c^2$

Architektura rozhraní Thunderbolt je založena na dvou perspektivních standardech. Prvním je standard **PCI-E** a druhým je standard **DP**.

+

Výhodou standardu **PCI-E** je jeho univerzálnost, široké uplatnění ve stávajících počítačích typu **PC** (*Personal Computer*), velké množství technologií je koncipováno právě pro spojení a spolupráci se sběrnici typu **PCI-E**, a možnost přímého spojení se sběrnici **PCI-E** na základní desce **PC**.

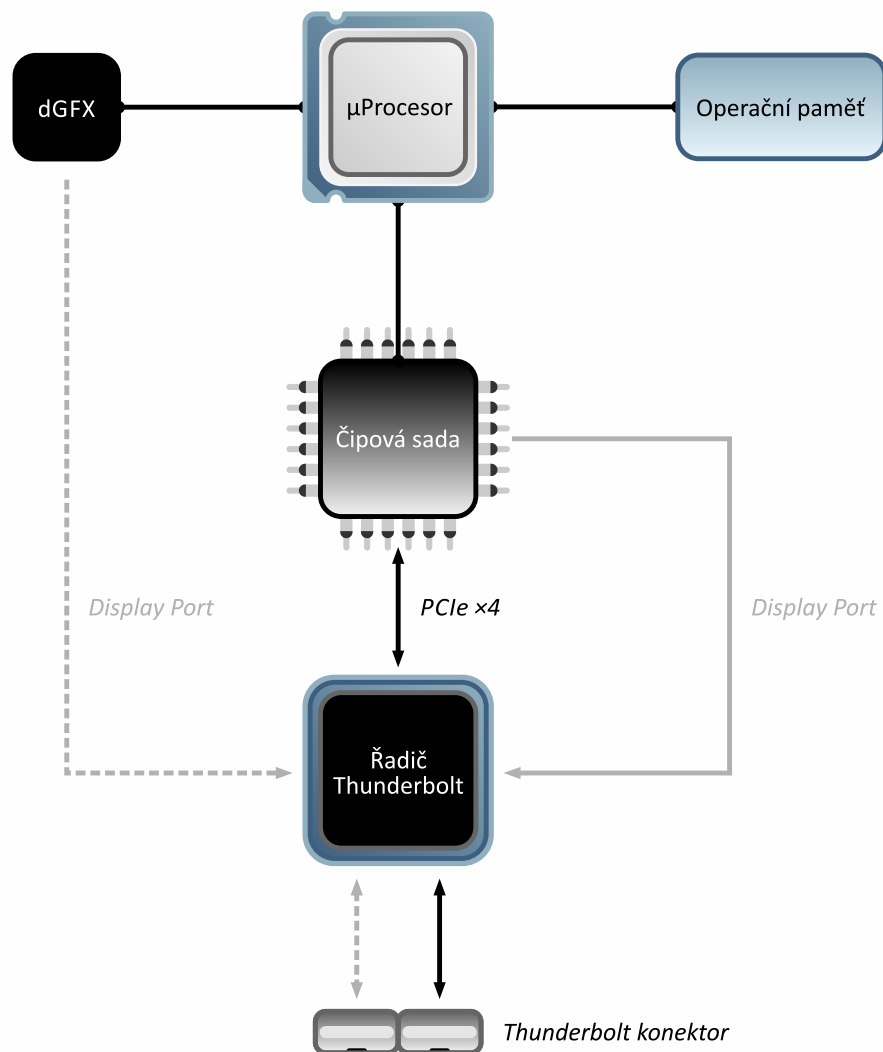
+

Výhodou portu **DP** je schopnost dosahovat i vyššího než Full HD rozlišení (např. 4K či 5K) se stále větší snímkovou frekvencí. S obrazem je možné souběžně přenášet i 8-mi kanálový zvuk.

i

Fyzický konektor **Mini DP** je zpětně kompatibilní s klasickým portem **DP**. Maximální přenosová rychlost samotného **DP** je 5,4 Gbit/s při využití čtyř spojů. Při spojení se zařízením s rozhraním **TB** se rychlost zvýší na 10 Gbit/s. Celková rychlost při obousměrném dvoukanálovém přenosu je tedy 20 Gbit/s.

Blokové schéma architektury rozhraní Thunderbolt je na následujícím obrázku.



Architektura rozhraní Thunderbolt

Do řadiče **TB** vstupují data z portu **DP** a ze sběrnice **PCI-E**. Řadič data spojuje do paketů, které jsou společně přenášeny přes jeden aktivní **TB** kabel.



Použití aktivních kabelů má však nepříznivé teplotní důsledky. Na připojeném nečinném konektoru můžeme naměřit teplotu kolem 43°C. V aktivním stavu však může teplota vzrůst až k 50°C. Na kabelu mezi konektory se teplota neliší od okolí.



Zahřívání konců kabelu je způsobeno zabudováním čipu *Gennum GN2033* přímo do konektoru. Ten i přes své velmi malé rozměry dokáže zajistit podmínky pro vysokorychlostní a bezchybný přenos dat přes tenký měděný pár. Čip však není přímo nezbytný pro technologii **TB**, ale jeho přítomnost vylepšuje přenosové rychlosti a přenosové charakteristiky rozhraní. Při přechodu na optické kabely nebude jeho začlenění nutné.



Zvýšené teploty nejsou pro uživatele nebezpečné, ale zcela jistě přispívají k celkovému zahřívání zařízení a tím i k vyšším nárokům na jeho chlazení. Například konektory u rozhraní USB 3.0 podobný problém nemají, jejich teplota je jen málo odlišná od okolní.



Použití aktivních kabelů má (kromě velkého zahřívání) pro uživatele ještě mnohem významnější dopad, kterým je vyšší pořizovací cena oproti konkurenčním typům rozhraní.

3.3 Přenos dat

$E=m \cdot c^2$

Klíčovou komponentou pro přenos dat je řadič. Řadič je součástí jak vysílačiho tak přijímačiho zařízení. Řadič je navržen pro komunikaci s velmi malým zpožděním a s podporou kritérií **QoS** (*Quality of Service*).

$E=m \cdot c^2$

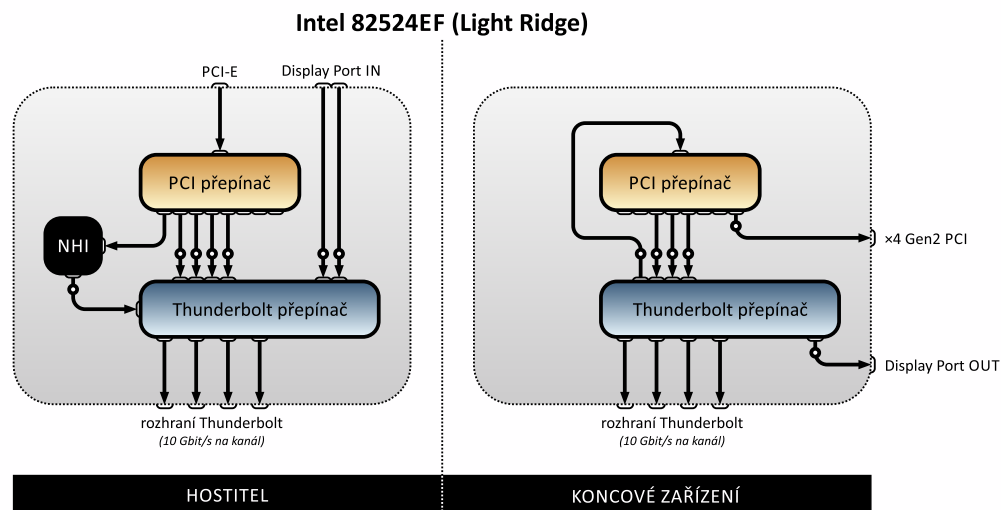
Jednou z řady vlastností **QoS** je schopnost sítě předem poskytnout informace o šířce pásma/zpoždění a podle priority rezervovat a řídit datový tok. Každý paket má určenou svou prioritu v rámci záhlaví paketu TLP Header.

i

Hodinová synchronizace s připojeným zařízením prostřednictvím rozhraní **TB** proběhne do 8 ns.



Řadič **TB** umístěný na základní desce **PC** je vždy v režimu *Host* (viz následující obrázek). Řadič obsahuje nezávislý vstup pro data z rozhraní **PCI-E** a z portu **DP**. Uvnitř řadiče je **PCI-E** přepínač (*PCI-E Switch*), který řídí připojené koncového zařízení a člen **NHI** (*Native Host Interface*), který je použit pro detekci připojeného zařízení (podpora funkce *Plug&Play*). Posledním členem je přepínač Thunderbolt (*Thunderbolt Switch*), který oba typy dat sdružuje do jednoho datového toku.



Řadič rozhraní Thunderbolt

i

Jeden port **TB** vyžaduje dva kanály. Každý se skládá ze dvou drah kvůli obousměrnému přenosu a má propustnost 10 Gbit/s. Jeden kanál je použit pro obrazová data a druhý pro ostatní data. Protože se výkon kanálů nesčítá, oficiální

uváděná propustnost je 10 Gbit/s na jeden port. Dle uvedeného konstrukčního řešení tedy řadič obsahuje čtyři výstupy.

Pro koncová zařízení připojovaná k **PC** se nachází řadič **TB** v koncovém režimu (*Endpoint*). K dispozici jsou čtyři vstupy resp. výstupy dle typu operace. Přijatá data vstupují do přepínače Thunderbolt, který je velmi výkonným protokolovým přepínačem. Data se v něm rozdělí dle jejich protokolu. Data portu **DP** vystupují z řadiče (*DP out*) a data sběrnice **PCI-E** vstupují do přepínače **PCI-E**. Ten následně data rozdělí dle specifikace 4 dráhového standardu PCI-E 2.0. K němu lze připojit jedno (4 dráhy), dvě (2 dráhy) či čtyři (1 dráha) zařízení. Při sériovém zapojení více zařízení řídí směrování dat přepínač PCI-E, který je před daným zařízením. Každý člen zapojený do sériového spojení musí obsahovat dva porty. Pokud obsahuje pouze jeden, není schopen přenést data na další zařízení a je proto připojeno na konec řetězce. Takovým zařízením je typicky monitor. Nejmenší zpoždění má pak zařízení, které je v topologii zapojení na prvním místě. Po rozdělení dat dojde k jejich vstupu do mikročipu **PCH** (*Platform Controller Hub*), který určuje datové cesty, a řídí pomocné funkce ve spolupráci s **CPU** (*Central Processing Unit*) (např. systémové hodiny) a paměti. Spojení mezi řadičem a **PCH** zahrnuje rozhraní **FDI** (*Flexible Display Interface*), tedy pásmo pro samostatný přenos obrazových dat.



Při aplikaci technologie optických vláken nebude nutné hardwarově měnit současné zařízení s rozhraním **TB**. To je již dnes schopné přenášet data jak přes měděné tak i prostřednictvím optických kabelů. V případě optiky mohou mít kabely dosah až několik desítek metrů při současném napájení pomocí metalického vodiče. Při absenci napájení se počítá s přenosem optického signálu až do stovek metrů vzdáleného zařízení.
