

Sběrnice a propojení

Petr Jedlička, Cyril Klimeš, Tomáš Pitner

Předmluva

HTML · Slides · PDF | Přehled předmětu

◎ Cíle přednášky

- Cílem je pochopení účelu a principů sběrnic.
- **Sběrnice** jsou komunikační kanály uvnitř počítače i pro připojování vnějších zařízení.
- Počítačové sítě zde neprobíráme, na to je prostor jinde.

🔑 **Sběrnice** je *sdílený komunikační kanál* uvnitř počítačového systému — soustava vodičů, budičů a přijímačů, která *soustřeďuje komunikaci do jednoho média* a přenáší *datové*, *adresové*, *řídicí* a *stavové* signály. Na rozdíl od **počítačových sítí** propojuje prvky jednoho systému.

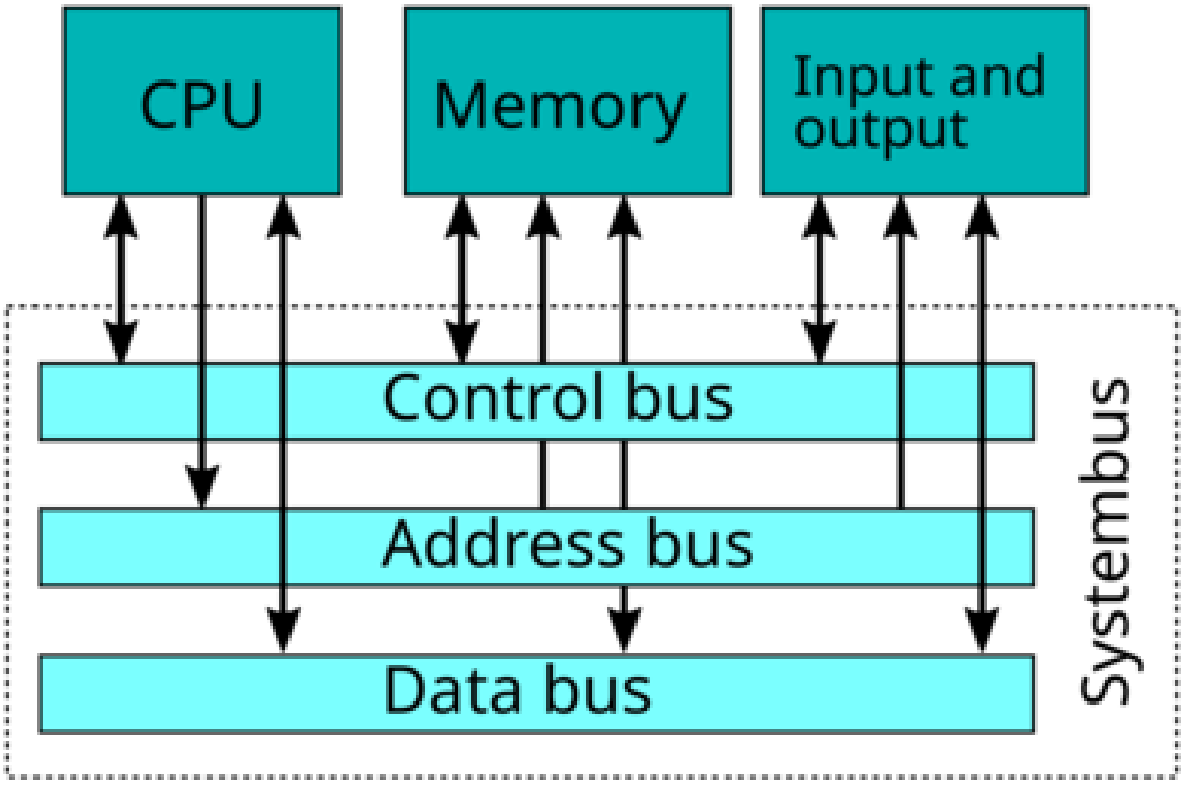
Sběrnice nebo sítě?

- Zde se budeme věnovat převážně **sběrnicím** jakožto *sdíleným komunikačním kanálům uvnitř počítačového systému* a pro připojení *vnějších zařízení* závislých na systému, kam jsou připojeny.
- **Počítačové sítě**, jakožto systémy pro *propojování počítačů a dalších inteligentních zařízení*, které mohou v principu fungovat i *nezávisle*, budou obsahem až pozdějších přednášek a spíše až předmětů k sítím.



Účel sběrnic

- Sběrnice tvoří propojovací systém uvnitř počítače, jeho "krevní řečiště", kudy tečou informace a povely.
- Podstatné pro označení "sběrnice" je, že "sbírá", tedy soustřeďuje komunikaci do jedné soustavy, na *jedno médium*.
- Je tvořena soustavou vodičů, budičů a přijímačů — tedy alespoň u drátových sběrnic.
- Přenáší *datové*, *adresové*, *řídicí* a *stavové* signály.



Obr. 1. System bus

Sběrnice vs. rozhraní

Sběrnice (*bus*) fyzické propojení komponent (např. vodiče)

Rozhraní (*interface*) logická pravidla a protokoly (např. NVMe) - stejné rozhraní může běžet na různých sběrnicích

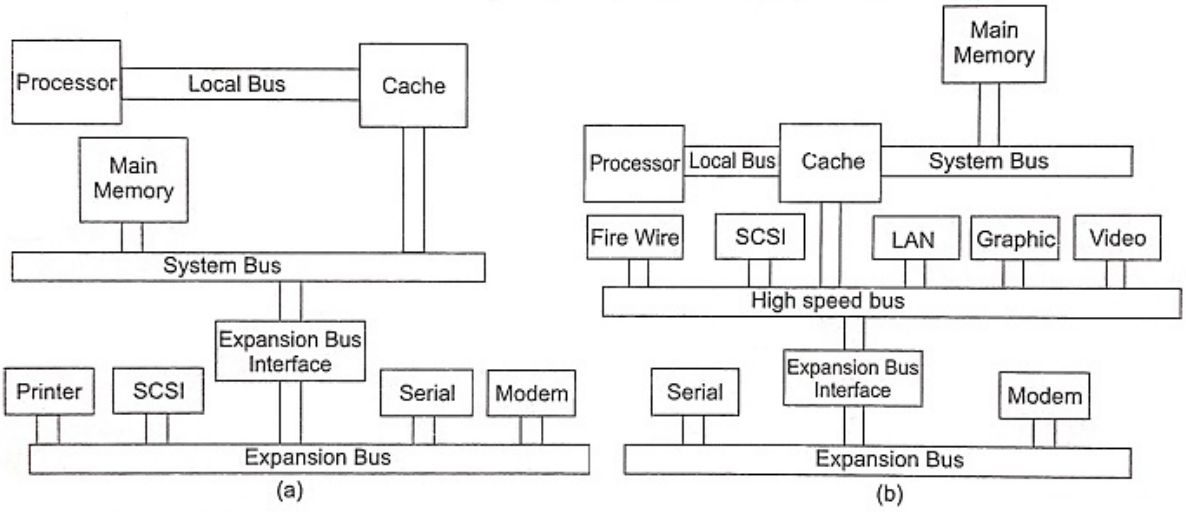


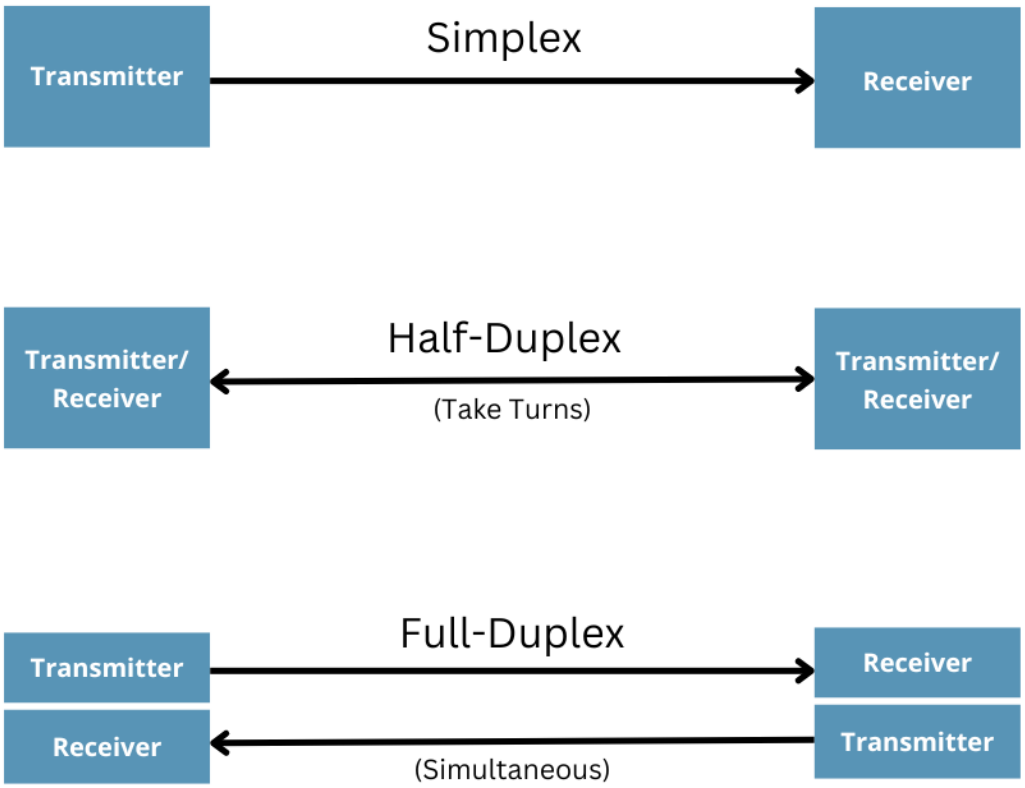
Fig. 9.71 *(a) Traditional bus architecture and (b) High performance bus architecture*

Typy komunikace na sběrnici

Simplex jednosměrný přenos

Half-duplex obousměrný, ale ne současně

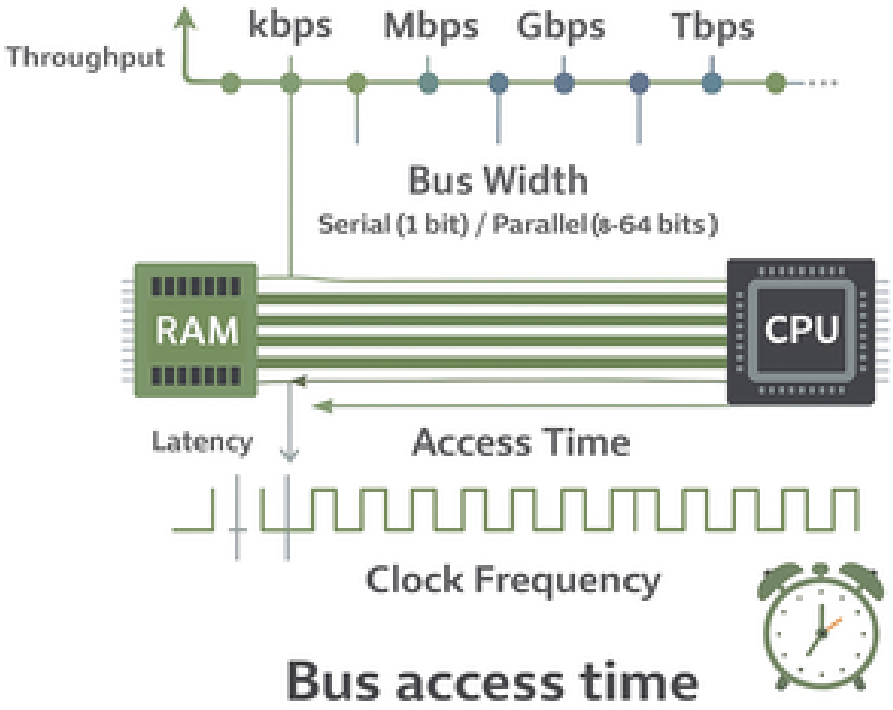
Full-duplex současně obousměrný (lze realizovat i jako dva protisměrné simplex kanály)



Vlastnosti a organizace přenosu

Parametry sběrnic

Propustnost	rychlost přenosu; udává se v *kbps* (kilobit per second) až obdobně *Gbps*, evt. *Tbps*
Přístupová doba	(access time) než se dostaneme s přenosem "na řadu" a zrealizujeme ho
Šířka sběrnice	počet souběžně přenášených bitů: 1 (sériová), 8–64 bitů (paralelní)
Frekvence	u synchronních sběrnic frekvence, s jakou "tepou" hodinové impulsy řídící sběrnici



Co zahrnuje přístupová doba

Přístupová doba obvykle zahrnuje následující fáze:

1. detekci **požadavku** na přístup,
2. případnou **arbitráž** (výběr zařízení, které získá přístup ke sběrnici),
3. **vyslání** adresy nebo příkazu,
4. **čekání** na odezvu cílového zařízení (např. paměti),
5. samotný **přenos** dat.

Paralelní sběrnice

Paralelní sběrnice obsahuje tyto části:

Datová část	určuje, kolik bitů lze přenést najednou
Adresní část	udává, kolik paměti lze adresovat (2^N, kde N je počet adresních vodičů)
Řídicí a stavová část	řídí operace, sděluje stavy

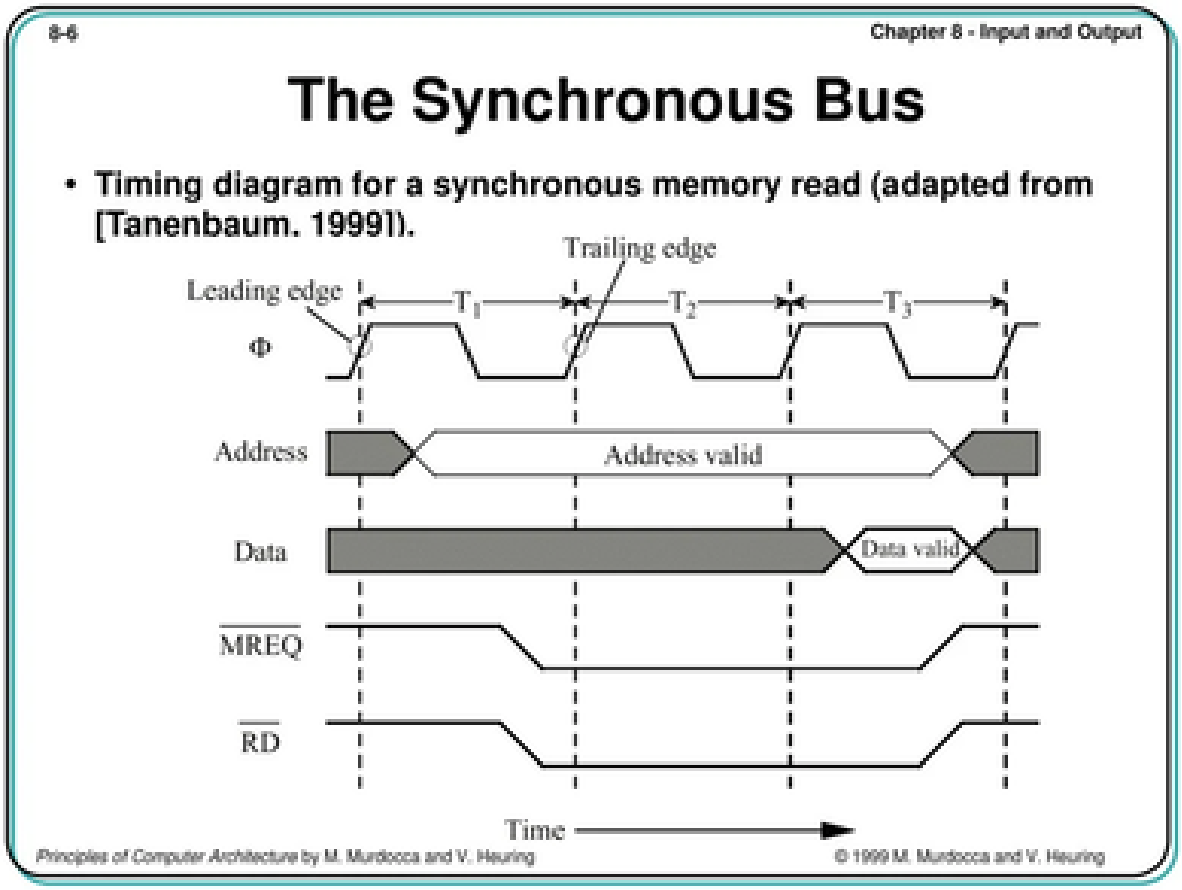
Synchronní vs. asynchronní přenos

Synchronní

pevné časové intervaly řízené hodinami

Asynchronní

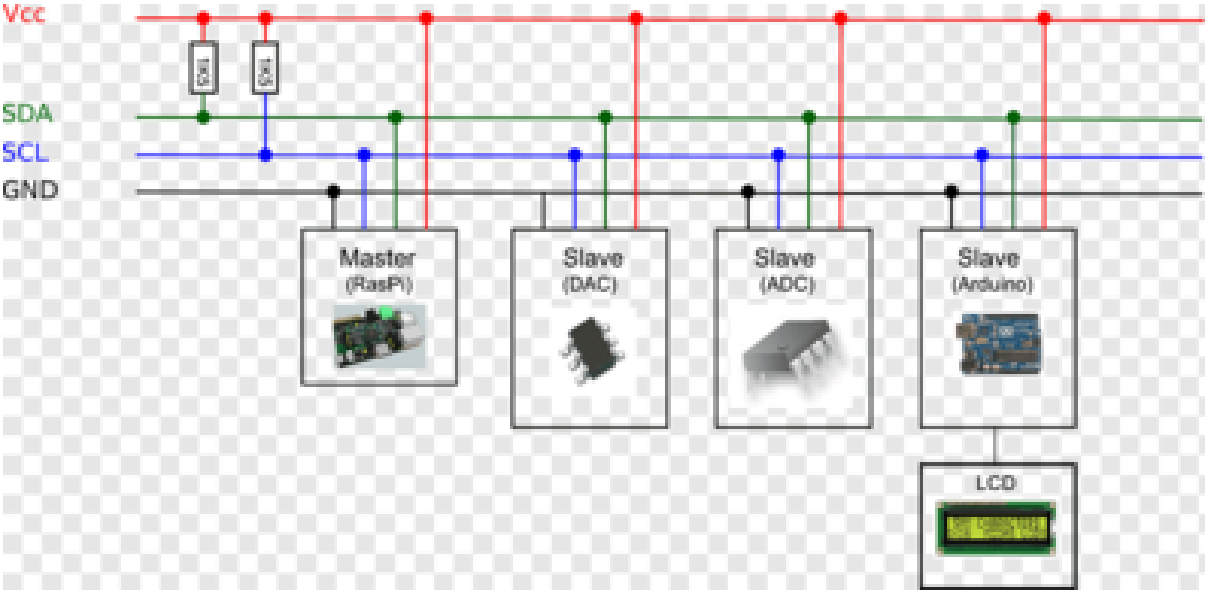
přenos řízen vysílajícím, přijímajícím nebo oběma



Sériová sběrnice

- myslíme sběrnici umožňující přenos "drátový" dat obvykle metalickými vodiči (kabely)
- data jsou zásadně posílána nesouběžně, *sériově*, tzn. bit za bitem
- může být *synchronní* (pak musí být přenášet i synchronizační signál — hodinové signály, CLK)

- typy a realizace sériových sběrnice viz dále



Řídicí signály (příklady 1)

- Níže jsou příklady; jde o principy, různí autoři a výrobci systémů a součástek si pojmenovávají signály trochu jinak.

READ (RD)	Zahájení čtení z paměti nebo periferního zařízení.
WRITE (WR)	Zahájení zápisu do paměti nebo periferního zařízení.
MEMR / MEMW	Specifikace, že jde o přístup do paměti (na rozdíl od I/O operace).
IOR / IOW	Čtení nebo zápis do I/O zařízení. (Někdy jsou I/O operace realizovány z pohledu programu jako čtení z paměti - I/O porty jsou mapované do paměťového prostoru.)

Řídicí signály (příklady 2)

CLK	Taktovací signál (hodiny) synchronizující sběrnici nebo celý systém.
RESET	Uvede počítač nebo zařízení do výchozího stavu.
INT	(Interrupt Request) Požadavek na přerušení vyvolaný vnější událostí (signálem, sepnutím časovače…).
ACK	Potvrzení přijetí požadavku (např. přerušení nebo přenosu).

Řídicí signály (příklady 3)

WAIT	Oznamuje, že zařízení není připraveno a CPU musí čekat.
READY	Indikuje, že zařízení nebo sběrnice jsou připraveny na přenos dat.

BUSREQ Žádost o řízení sběrnice a její přidělení (např. pro DMA).

BUSGRANT Žádost o řízení sběrnice a její přidělení (např. pro DMA).

Sdílení přenosového média

Přidělování sběrnice

- Tím, že je sběrnice sdílené médium, je třeba přístup k ní řídit.
- Řízení může mít povahu:

Centrální řízení	arbitr, prioritní dekodér
Decentralizované řízení	token, kolizní metody

Kolizní metody: CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

- Detekujeme stav média *naslouchánímí*, když je volné, komunikujeme.
- Používá se u drátových sítí (Ethernet)

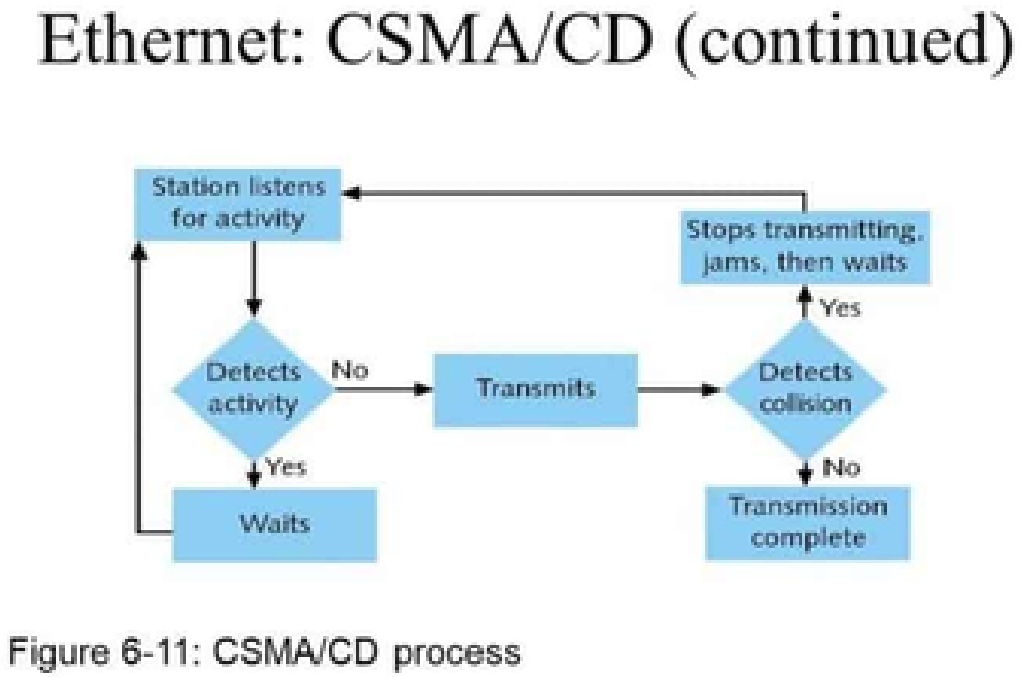


Figure 6-11: CSMA/CD process



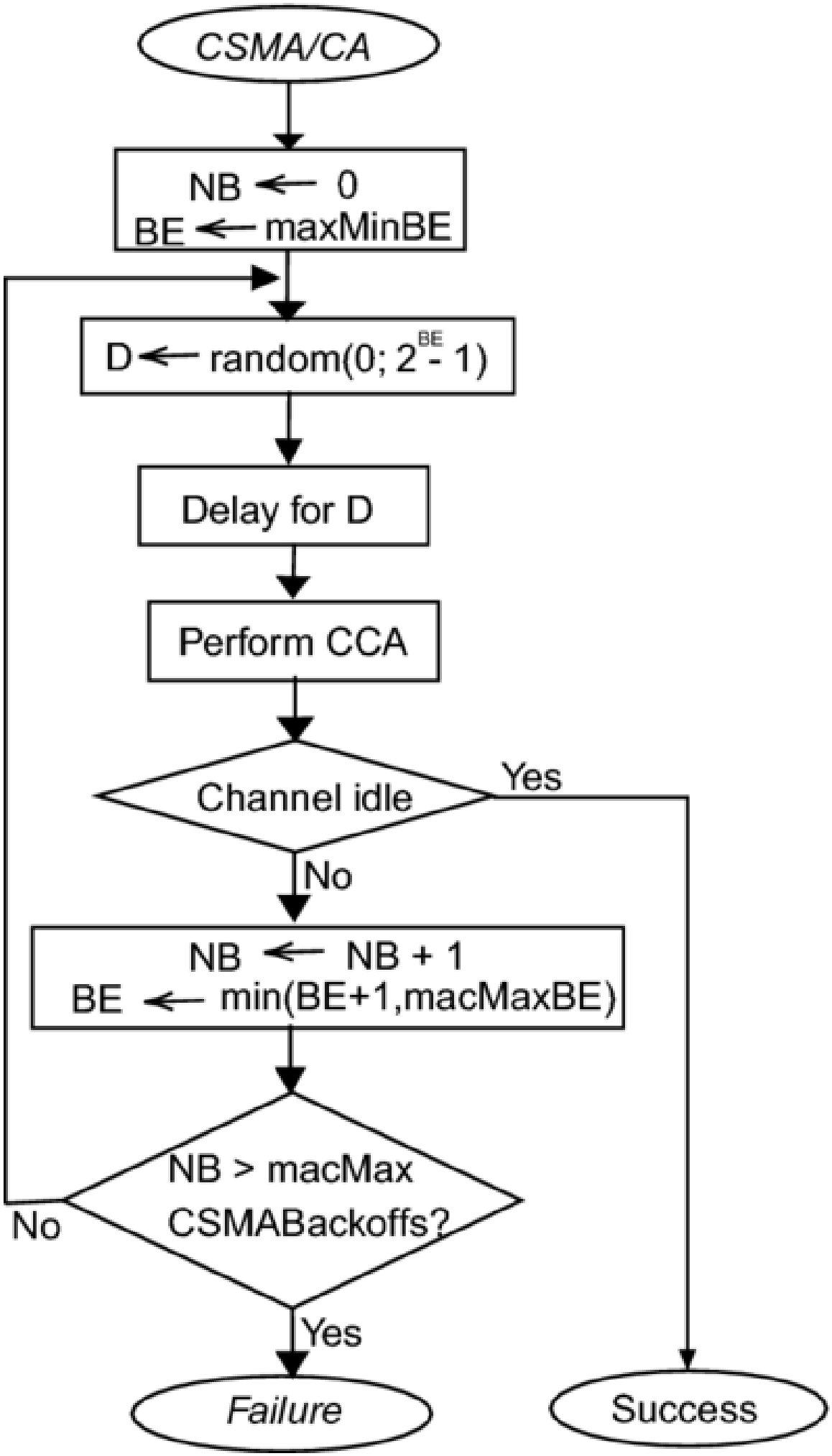
U vnitřních sběrnici počítačů se kolizní metody nepoužívají.

Kolizní metody: CSMA/CA

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

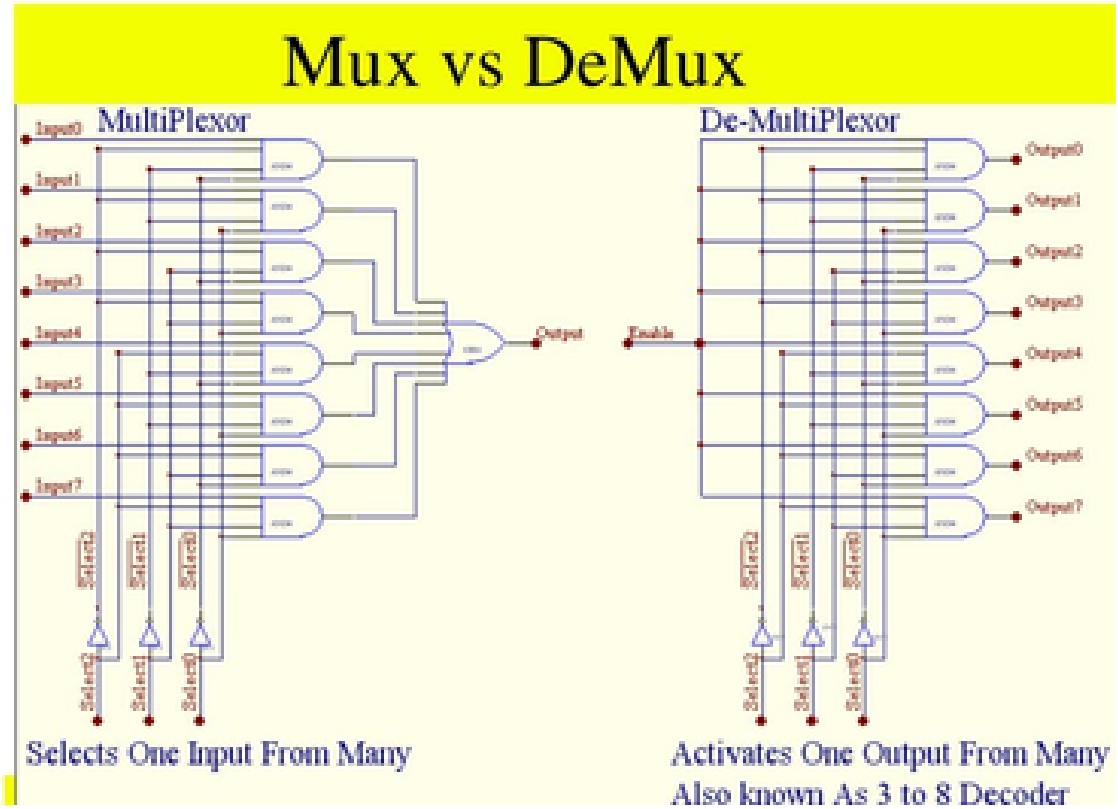
- Bránění kolizím

- Používá se u bezdrátových sítí (802.11 - Wi-Fi)


CSMA/CA
NB ← 0
BE ← maxMinBE
D ← random(0; 2^BE - 1)
Delay for D
Perform CCA
Channel idle
Yes
No
NB ← NB + 1
BE ← min(BE+1,macMaxBE)
NB > macMax
CSMABackoffs?
No
Yes
Failure
Success

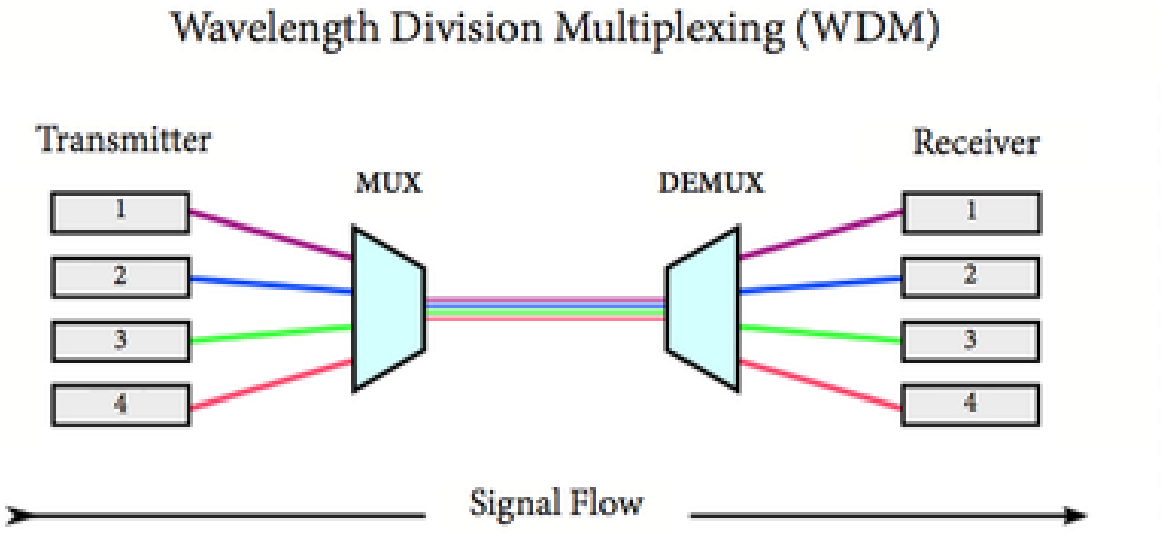
Multiplexování

- Kombinace více datových toků do jednoho signálu
- Potřebujeme na jedné straně *multiplexor*, na druhé *demultiplexor*.
- Nevýhoda: nelze jednotlivé toky posílat současně
- Výhoda: ušetří se na kabeláži, používané v průmyslu, automotive

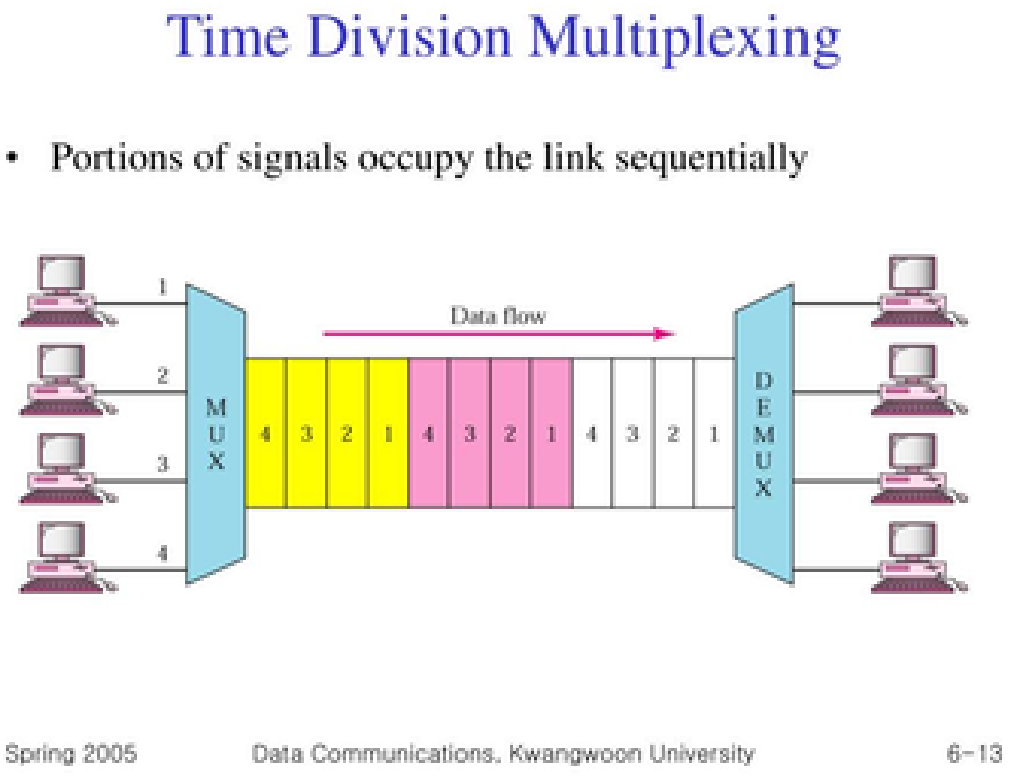


Časový, frekvenční a vlnový multiplex

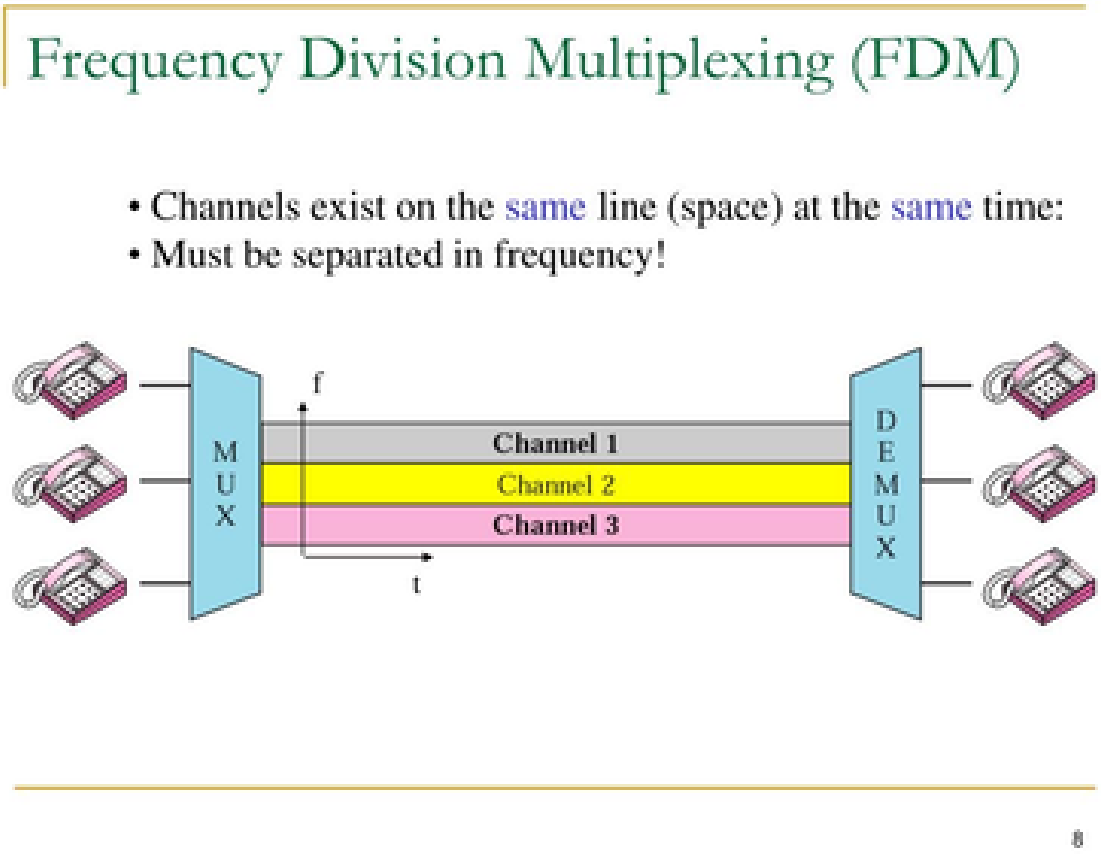
Časový	TDM, *Time Division Multiplexing* = multiplex s časovým dělením; pevné intervaly střídání toků
Frekvenční	FDM, *Frequency Division Multiplexing* = multiplex s frekvenčním dělením
Vlnový	WDM, *Wavelength Division Multiplexing* — obdoba frekvenčního při přenosu optickým kabelem



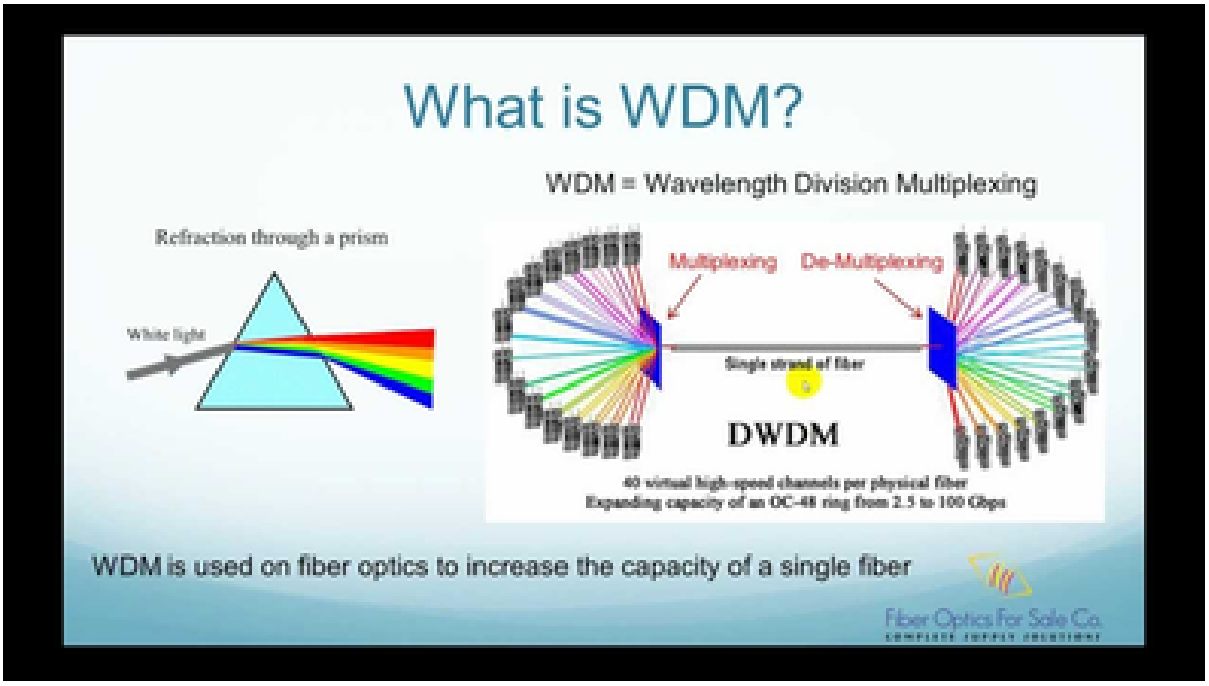
Časový multiplex



Frekvenční multiplex



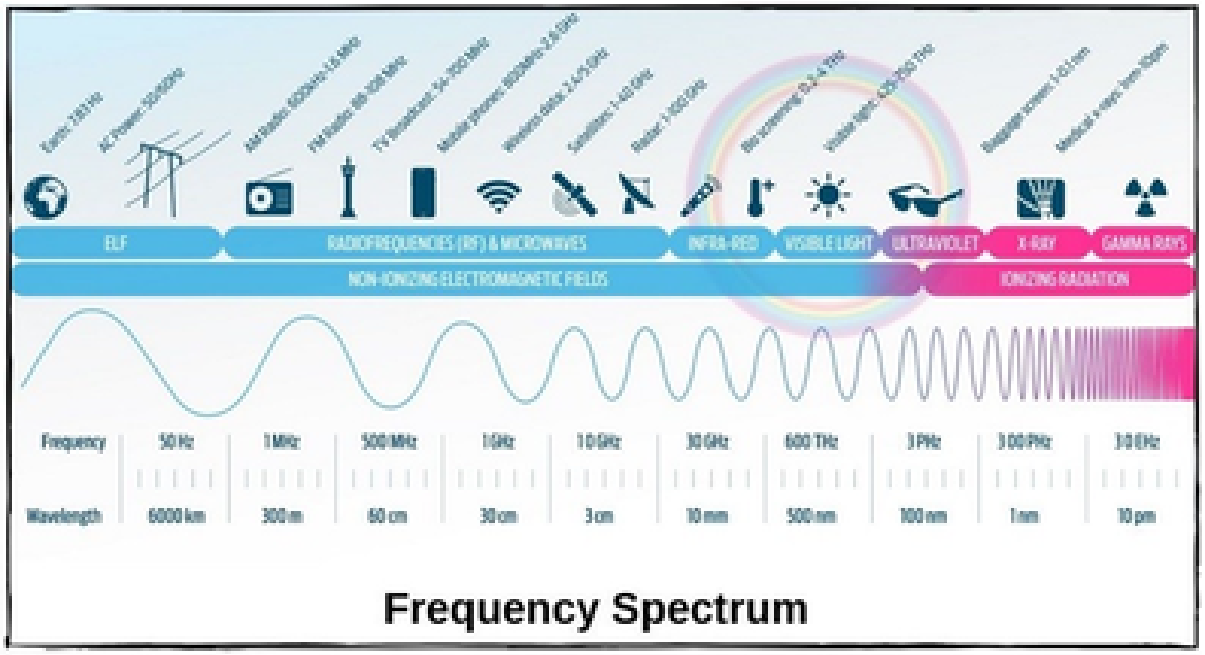
Vlnový multiplex



Přenos signálu

Bezdrátové přenosy

- Bezdrátový přenos je přenos pomocí elektromagnetického vlnění na různých frekvencích, obvykle však v řádech od *stovek kHz do jednotek GHz*.
- Nepotřebuje žádné vodiče, tedy *wireless*.

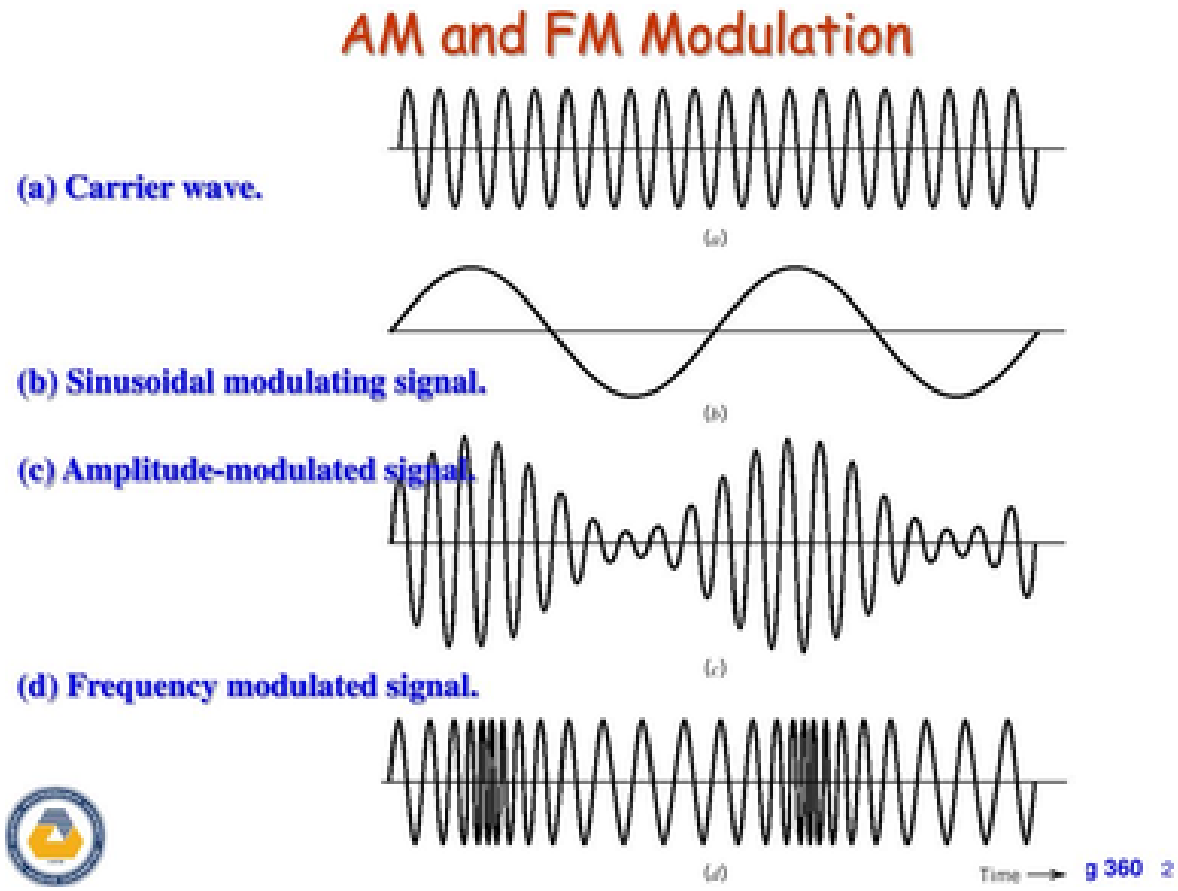


Frequency Spectrum

Modulace signálu

Modulace signálu nezbytná technika, jak vnést do signálu užitečnou informaci, kterou chceme přenášet. Obecně může jít o digitální, ale také analogový signál, třeba FM rádio.

Digitální modulace (*klíčování, keying*) technika, jak zakódovat do signálu digitální informaci (`0` a `1`)



Typy klíčování

Amplitudové *Amplitude-Shift Keying* (ASK) nosná vlna (základní referenční signál o pevném kmitočtu) se moduluje *proměnou amplitudy*, tzn. síly signálu, ve dvou úrovních: pro log. 0 a 1.

Frekvenční *Frequency-Shift Keying* (FSK) je jednoduchá metoda, kdy se *frekvence nosné vlny skokově mění*: log. 1 (mark) = vyšší frekvence, log. 0 (space) = nižší frekvence

Fázové *Phase-Shift Keying* (PSK) je metoda, kdy binární hodnoty 0, 1 kódujeme jako *změny fáze* referenčního signálu (nosné vlny)

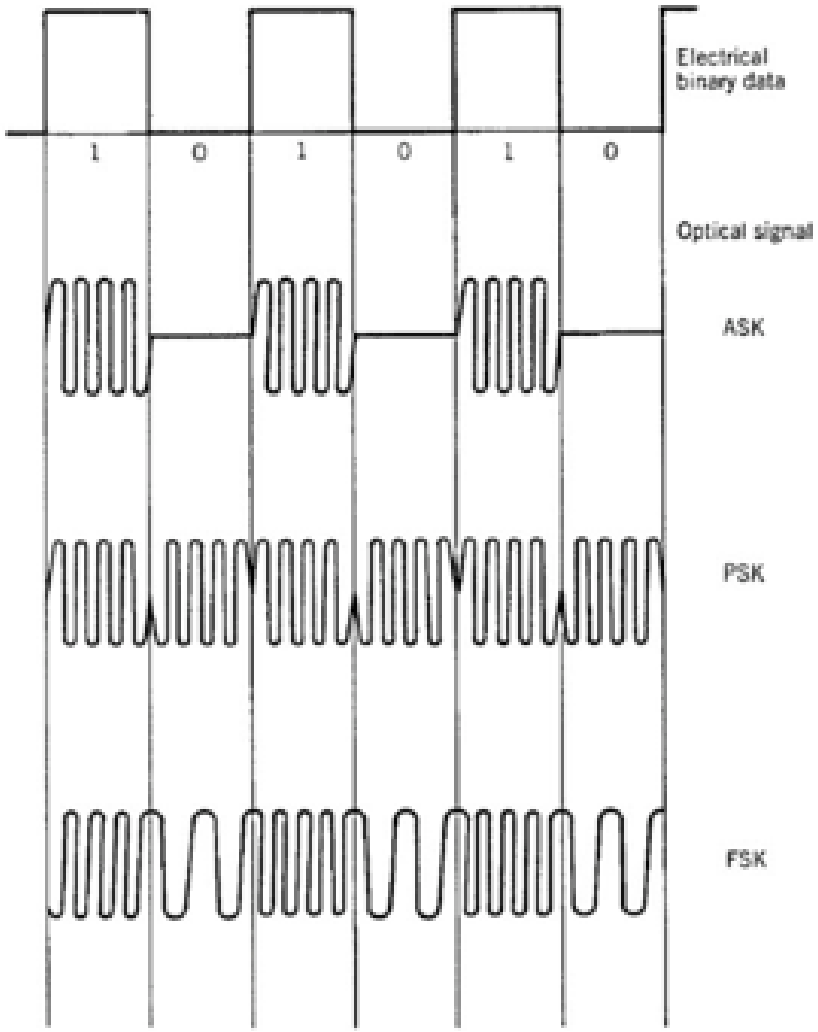


Figure 2: ASK, PSK, and FSK modulation formats for a specific bit pattern shown on the top.

Sběrnicové hierarchie a přenosové rychlosti

- Zařízení propojená uvnitř nebo připojená vně počítače mají různé *přenosové rychlosti* (displej × klávesnice), *nároky na odezvu*, jiné klíčování přenosu…
- Použití jediné sběrnice je tak neefektivní až nemožné.
- Proto různé typy sběrnic pro různé komponenty;
- Diametrální rozdíl mezi nároky zařízení *uvnitř* počítače (rychlá: procesor, paměť, grafický procesor,…) a *vně* (pomalá: klávesnice, myš)

Přenosové rychlosti: pomalé

Klávesnice	Několik bajtů za sekundu (řádově 10 B/s)
Myš	Desítky až stovky bajtů za sekundu (cca 100—1000 B/s), závisí na typu a vzorkovací frekvenci
Pevný disk HDD	Typicky 80—200 MB/s (závisí na otáčkách, hustotě zápisu a rozhraní)

Přenosové rychlosti: rychlé

Drátová síť (Ethernet)

100BASE-T

(*Fast Ethernet*) až 100 Mb/s (12,5 MB/s)

1000BASE-T

(*Gigabit Ethernet*) až 1 Gb/s (125 MB/s)

10GBASE-T

až 10 Gb/s (1250 MB/s)

SSD disk

SATA SSD

až 550 MB/s (limit rozhraní SATA III)

NVMe SSD

1—7 GB/s (závisí na verzi PCIe, např. 3.0 ×4 vs. 4.0 ×4)



Vidíme, že nároky na propustnost se liší o mnoho řádů; chce to různá řešení připojení.

Interní propojení v počítači

Vývoj čipových sad

Historie: Základní desky počítačů měly více jednoúčelových čipů tvořících ucelený systém — *čipovou sadu* (chipset):

- DMA řadič
- Paměťový řadič
- Řadič přerušení
- Řadič sběrnice
- Síťový řadič
- Generátor hodinových signálů

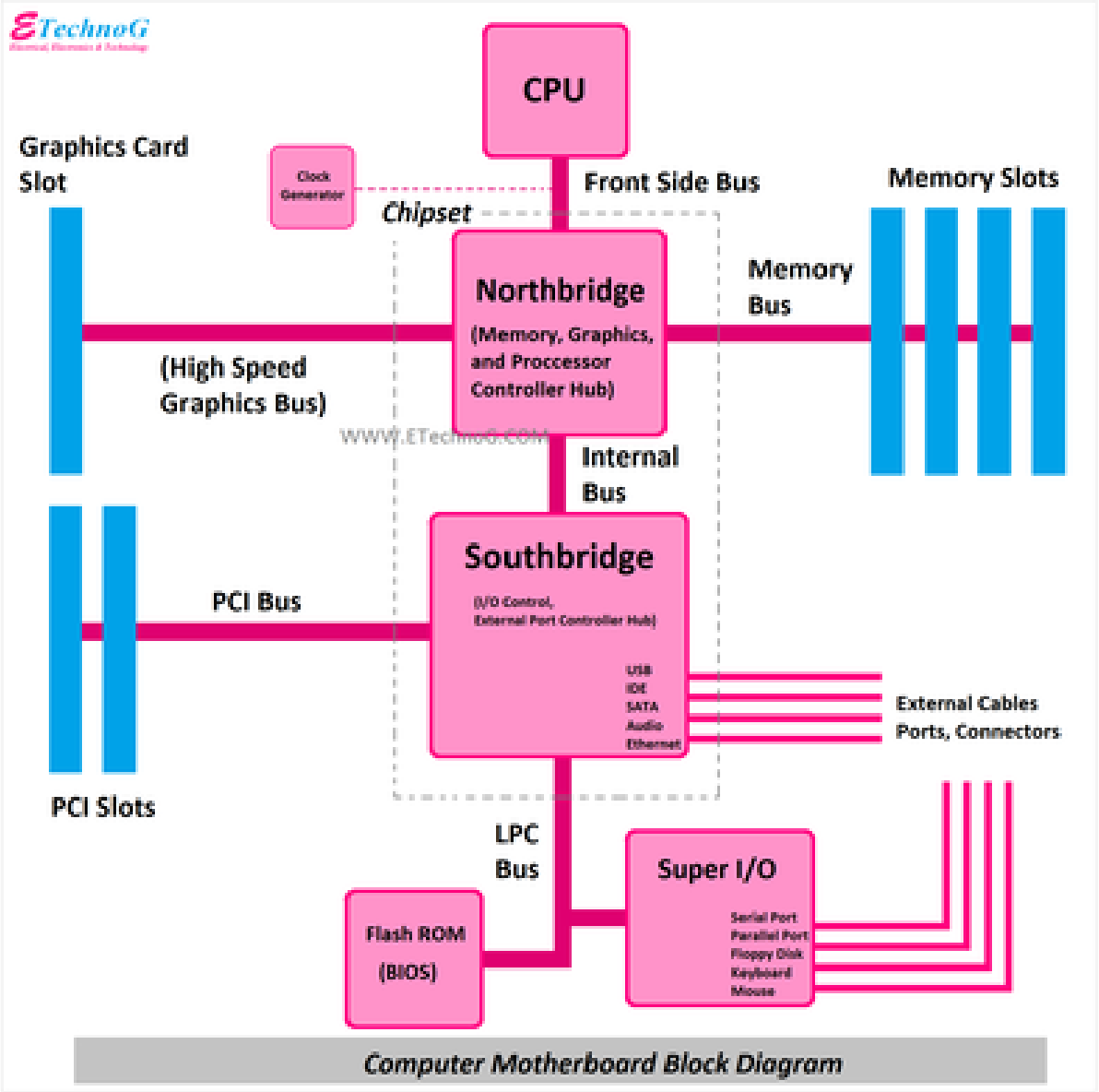
Koncentrace čipové sady

- Od 80. let snaha výrobců PC o standardizaci čipových sad
- Výhody: kompatibilita mezi výrobci, obvodové zjednodušení, vyšší výkon, nižší spotřeba

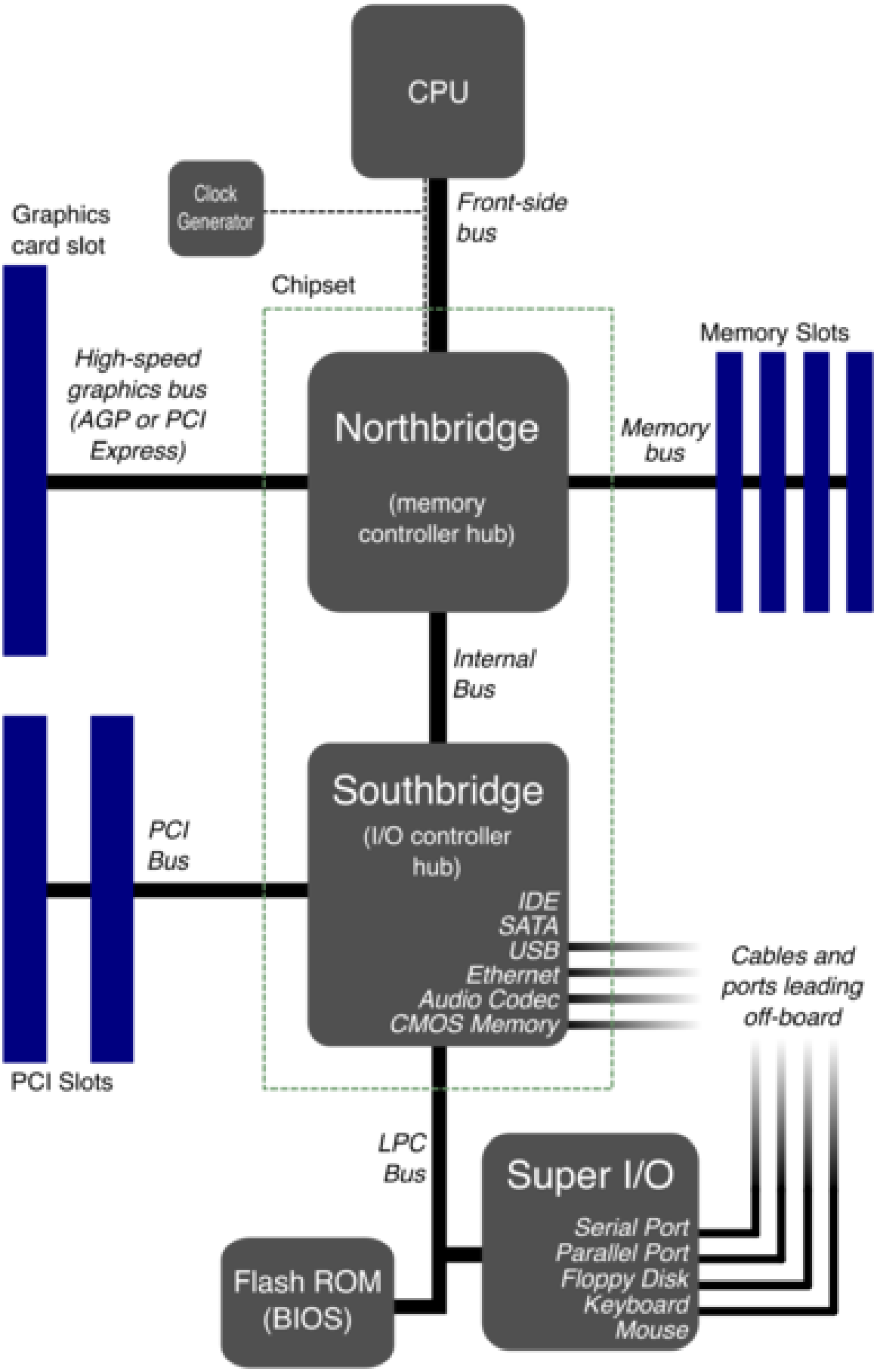
Rozdělení na Northbridge a Southbridge

- Postupná konsolidace do *Northbridge* a *Southbridge*:

Northbridge	rychlejší zařízení jako CPU, RAM, GPU
Southbridge	pomalejší zařízení jako Ethernet, USB, zvuk



Northbridge a Southbridge na základní desce

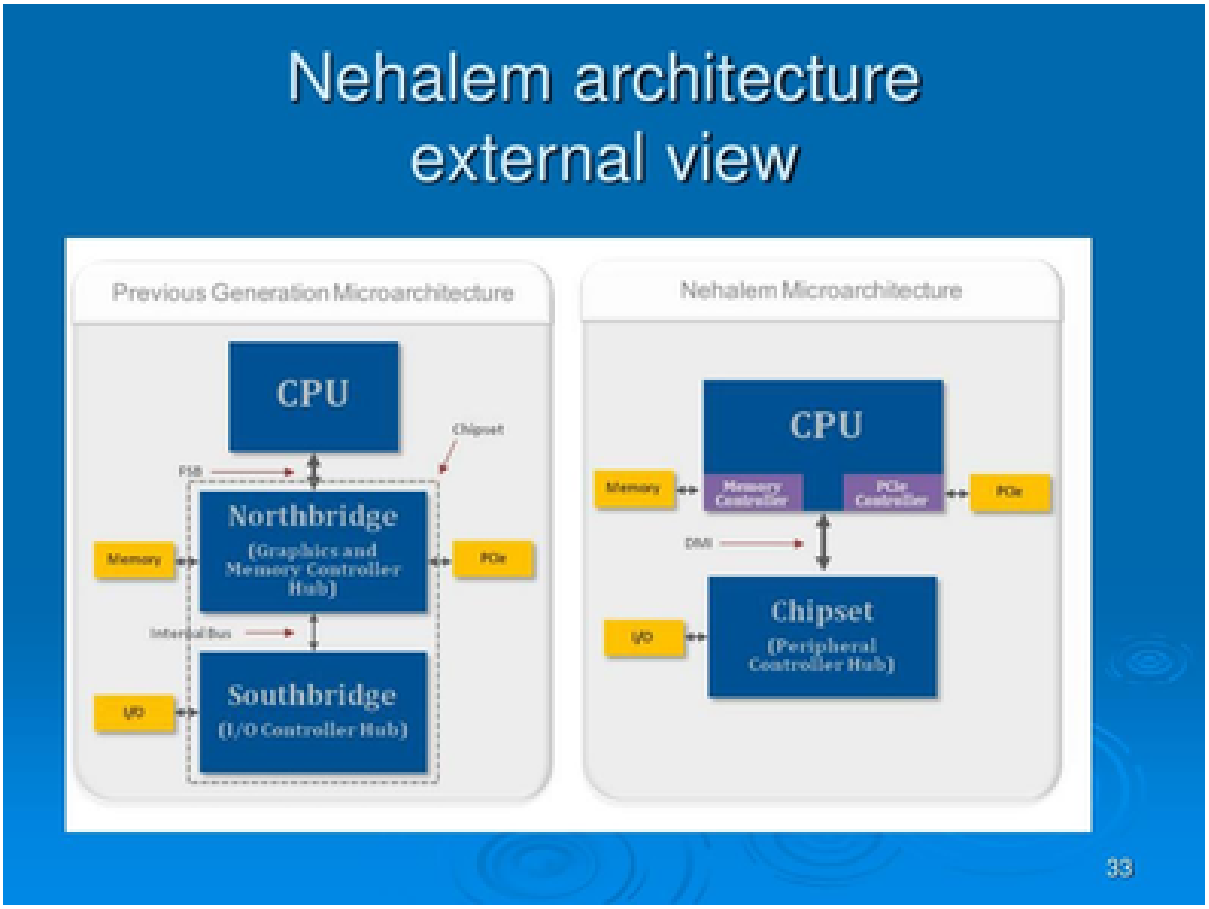


Označení NB a SB se používá pro počítače typu "PC", tedy s procesory Intel x86(-64).

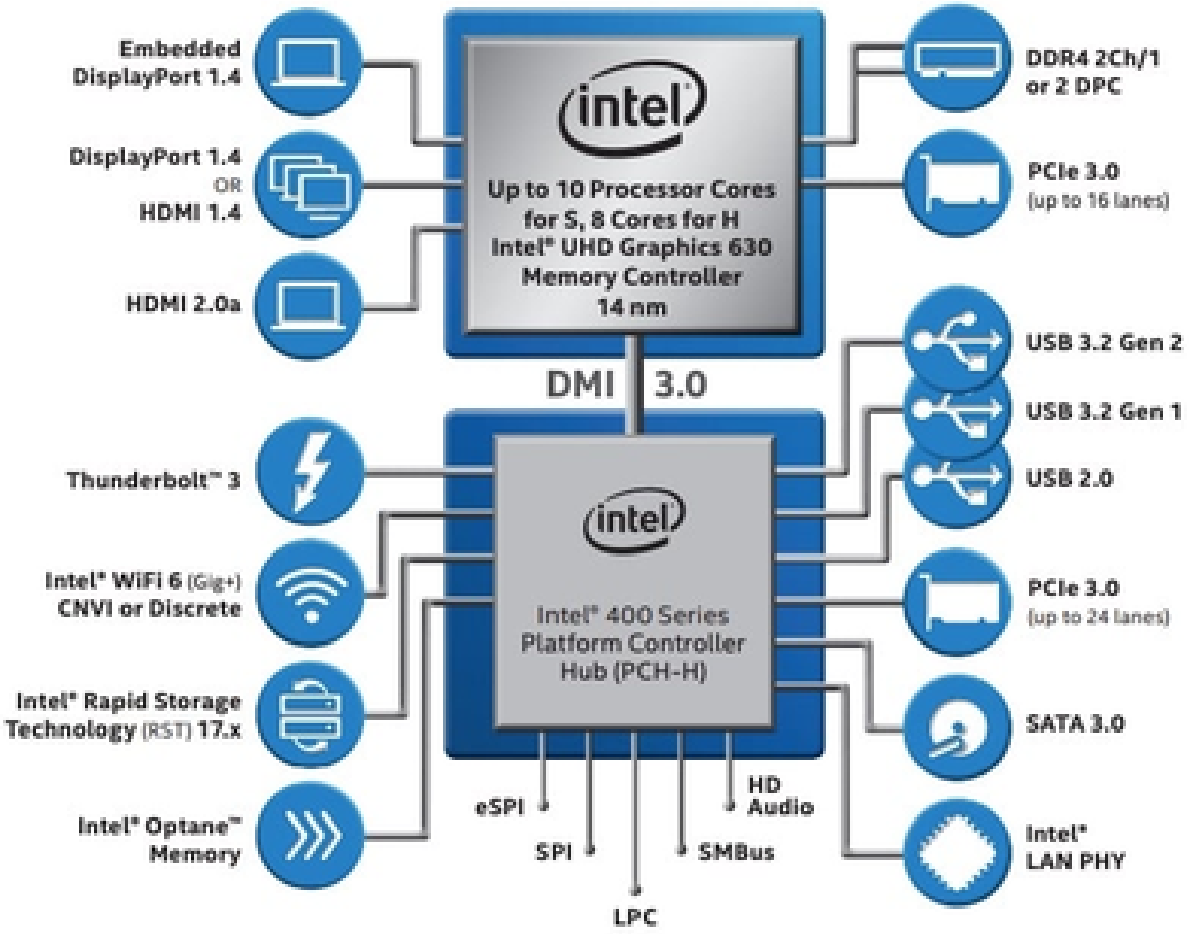
Další vývoj

Koncentrace pokračuje (2009 a dále: Nehalem):

- Novější procesory Intel integrují řadiče paměti a rozhraní pro grafické procesory do sebe
- Pro oba čipy NB a SB už není místo a jsou nahrazeny jediným: *Platform Controller Hub* (PCH).
- V současnosti čipové sady pro procesory Intel vyrábí firmy *AMD*, *Intel*, *VIA Technologies* a *Zhaoxin*.



Platform Controller Hub



PCI Express

- (PCIe) Sériová sběrnice (obousměrný přenos)
- iniciátorem Intel, více: http://www.pcisig.com

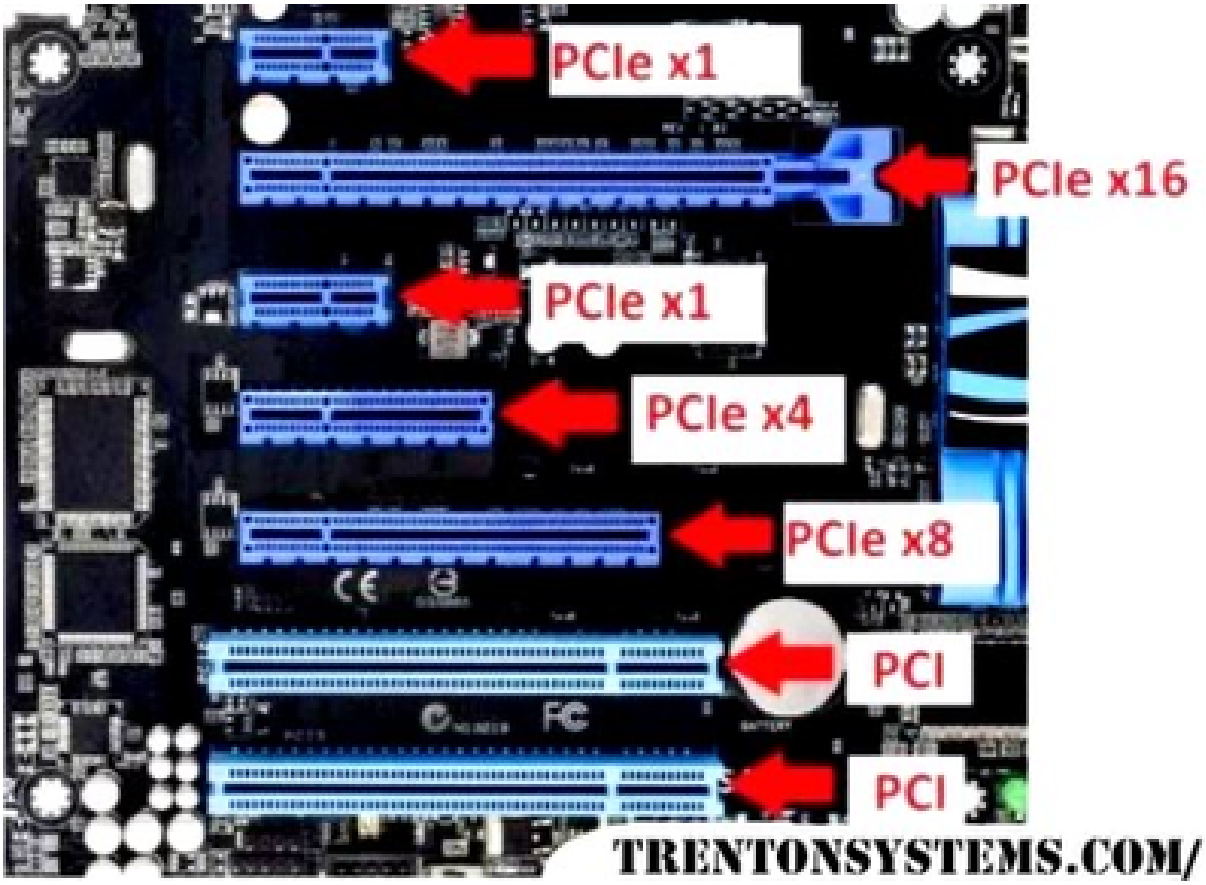
1.x 2,5 GHz, 8/10b

3.x 8 GHz, 128/130b

5.0 až 32 GB/s

Sloty PCI Express

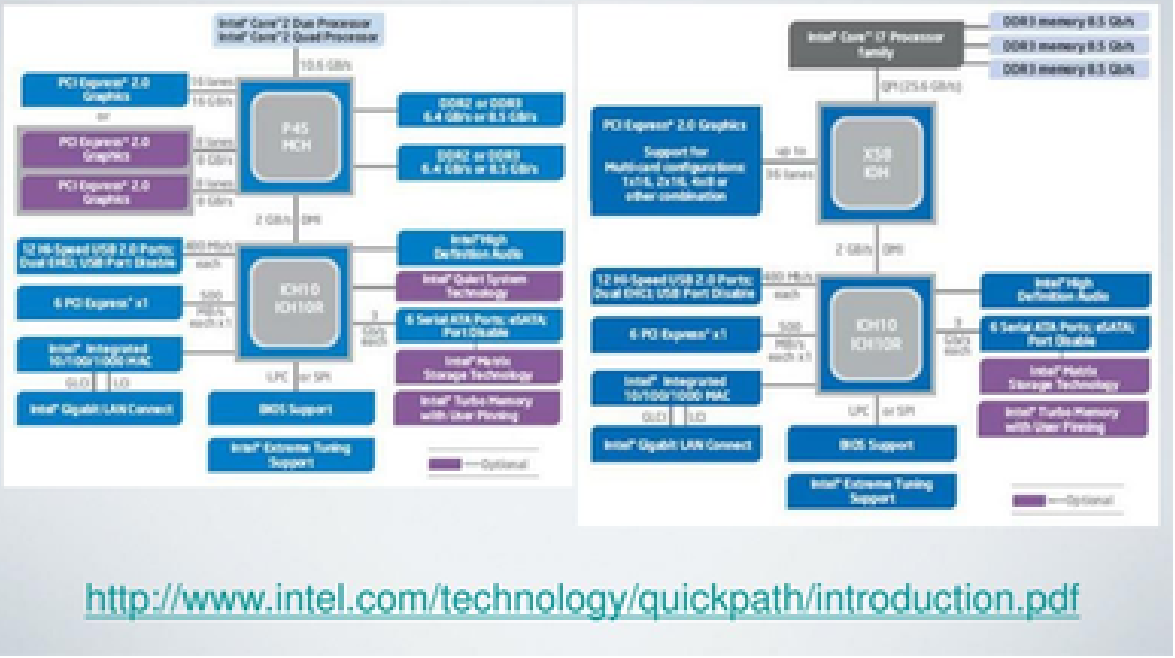
- PCIe x16, x1, PCI-X
- Rozdíly ve velikosti a účelu
- Sloty se liší fyzicky i elektricky



Propojení CPU, RAM, GPU: od FSB k QPI

- Dříve sběrnicí *Front-Side Bus* od CPU přes rozhraní Northbridge
- Dnes přímo paměťový řadič v CPU
- Intel: *QuickPath Interconnect* (QPI)
- AMD: HyperTransport → Infinity Fabric → *Infinity Architecture*

FSB vs QPI



http://www.intel.com/technology/quickpath/introduction.pdf

Rozhraní úložišť

Protokol, sběrnice a provedení

- **SATA**, **SAS** a **NVMe** určují způsob komunikace s úložištěm.
- **PCI Express** je sběrnice, po které se typicky přenáší NVMe.
- **M.2** je fyzické provedení modulu a konektoru, nikoli komunikační protokol.
- Disk M.2 proto může používat buď SATA/AHCI, nebo PCIe/NVMe; rozhoduje konkrétní modul i slot.
- U externího boxu se k rozhraní disku přidá převodník na USB nebo Thunderbolt.

Interní rozhraní úložišť

Rozhraní	Typické zařízení	Přenos	Jmenovité maximum	Poznámka
PATA / IDE	starší HDD a optické mechaniky	paralelní ATA, plochý kabel	133 MB/s (ATA/133)	zastaralé; na jednom kabelu bývala dvě zařízení
SATA III	HDD, 2,5" SSD, optické mechaniky	sériové, obvykle AHCI	6 Gb/s; SSD prakticky asi 550 MB/s	jedno zařízení na port; zpětná kompatibilita SATA
SAS	serverové HDD a SSD	sériové, full-duplex, dvouportové	12 nebo 24 Gb/s na linku podle generace	vyšší spolehlivost a dostupnost; řadič SAS obvykle obslouží i SATA disk
NVMe přes PCIe	moderní SSD	PCIe, obvykle 4 linky	podle generace PCIe a počtu linek	nízká latence a mnoho paralelních front; M.2 je jen jedno z možných provedení

Externí připojení úložišť

Rozhraní	Jmenovitá rychlost	Typické použití	Omezení a poznámky
USB	podle verze USB, od 5 do 80 Gb/s	flash disky, externí HDD/SSD, dokovací stanice	rychlost omezuje nejslabší z hostitele, kabelu, boxu a samotného disku
Thunderbolt	40 Gb/s u Thunderbolt 3/4; Thunderbolt 5 nabízí 80 Gb/s obousměrně a až 120 Gb/s ve směru k displejům	rychlé NVMe boxy a profesionální doky	tuneluje PCIe; konektor USB-C sám o sobě podporu Thunderbolt nezaručuje
eSATA	až 6 Gb/s	starší externí SATA disky	nepřenáší běžně napájení a dnes je prakticky nahrazeno USB

Konkrétní sběrnice a rozhraní

- video, audio a multimediální přenosy,
- Universal Serial Bus (USB),
- napájení a nabíjení přes USB,
- průmyslové a IoT sběrnice,
- bezdrátová propojení.

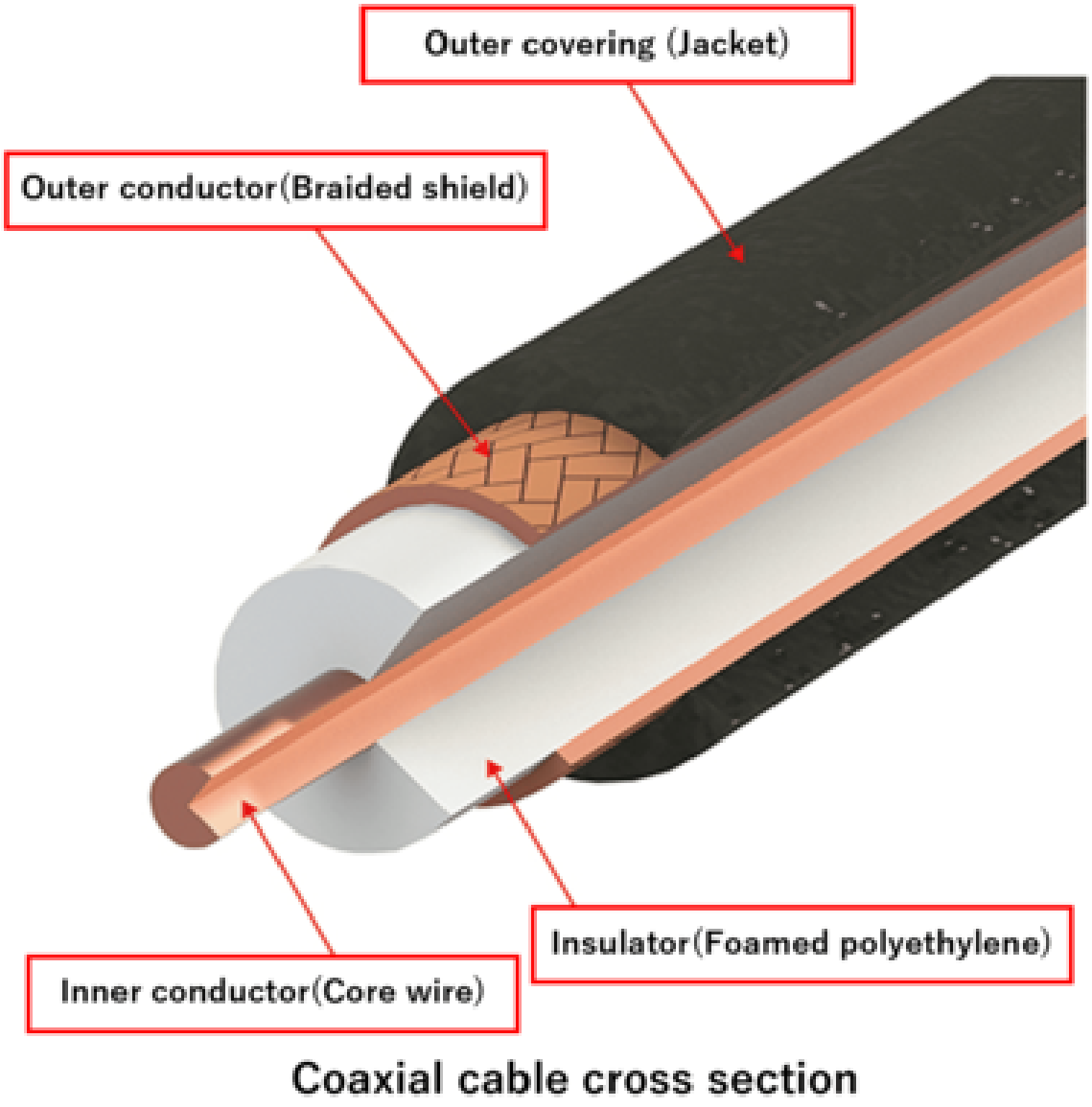
Video, audio a multimediální přenosy

Přenos obrazového signálu

Analogový přenos	**TV-out**, **Video-out**: klasické přenosy z éry analogové videotechniky: televize, analogové videokamery, rekordéry, přehrávače
Počítačové video	**VGA** a mnoho starších *analogových standardů* na připojení PC k monitorům
DVI	*digitální* přenos *videa bez zvuku*, dodnes se občas mezi vstupy monitorů objeví
HDMI	digitální přenos *videa, audia a řídicích signálů* v jednom, nejpoužívanější pro PC i spotřební elektroniku
DisplayPort	nejpokročilejší (vedle HDMI), využívá *paketový přenos videa/audia*
Thunderbolt	kombinované rozhraní pro audiovizuální a datové přenosy

TV-out

- v dřevních dobách se často zejména u domácích počítačů připojovaly pro zobrazování televizory
- běžným analogovým modulovaným televizních signálem (jako by počítač "vysílal" na některém kanálu místo televize)



Obr. 2. Obvykle koaxiální anténní kabel

Video-out

- přenášel se *kompletní* (composite) nebo *složkový* analogový videosignál podobně jako třeba z videopřehrávače, kamery průmyslové televize atd.
- Kompozitní signál se označoval také jako CVBS [*Composite Video Baseband Signal*] (nebo z angl. color, video, blanking, sync).
- Zvuk se musí přenášet zvlášť, většinou dva další stejné kabely pro L+P stereo kanály.



Obr. 3. Tenký koaxiální kabel se žlutým konektorem "cinch"

Skutečně "počítačové" zobrazování

- Po éře starších adaptérů a rozhraní, jako byly *CGA*, *EGA* či *Herkules*, se zásadněji ujal standard *VGA*:

VGA *Video Graphics Array* (IBM, 1987) je standard grafického adaptéru využívající pro přenos obrazu ještě analogový signál, přičemž používá *D-Sub DE-15* konektor. Konektory pro VGA naleznete často i na dnešních nebo nedávných monitorech.



Obr. 4. VGA a připojení D-Sub 15 konektorem v modernějších obměnách stále přežívá.

Digitální přenos obrazu: přehled

DVI *Digital Video Interface* (1999) pro digitální přenos obrazu, ne zvuku. Zvuk se přenáší extra kablíkem do reproduktorů nebo monitoru.

HDMI *High-Definition Multimedia Interface* (2003) pro digitální přenos obrazu i zvuku do rozlišení 8K@60 Hz (HDMI 2.1). Univerzální na PC i v domácích spotřebičích (TV, herní konzole). Přestože HDMI je rozšířenější i mimo svět počítačů, kvůli licenčním poplatkům nezřídka na monitorech nebo výstupech počítačů nalezneme spíše rozhraní *DVI* nebo *DisplayPort*, viz dále. Existuje i v provedení *Mini HDMI*.

DisplayPort (2006) pro digitální přenos obrazu i zvuku do rozlišení 8K@60 Hz (DP 1.4), až 16K (DP 2.0). Podpora vícemonitorových konfigurací přes jeden kabel (Daisy chaining). Otevřený standard bez licenčních poplatků. Existuje i v provedení *Mini-DP*.

DVI (1)

- Digitální video rozhraní (Digital Visual Interface)
- Podpora digitálního (DVI-D) i analogového signálu (DVI-A), případně kombinace (DVI-I)
- Maximální rozlišení až 2560×1600 (dual-link)
- Nepřenáší zvuk ani síťová/USB data
- Konektor s 24+1 piny (single-link), nebo 24+5 (dual-link)
- Přímá kompatibilita s HDMI pomocí jednoduché redukce (bez převodníku)

DVI (2)



Obr. 5. O DVI rozhraní, konektorech a typech kabelů

HDMI

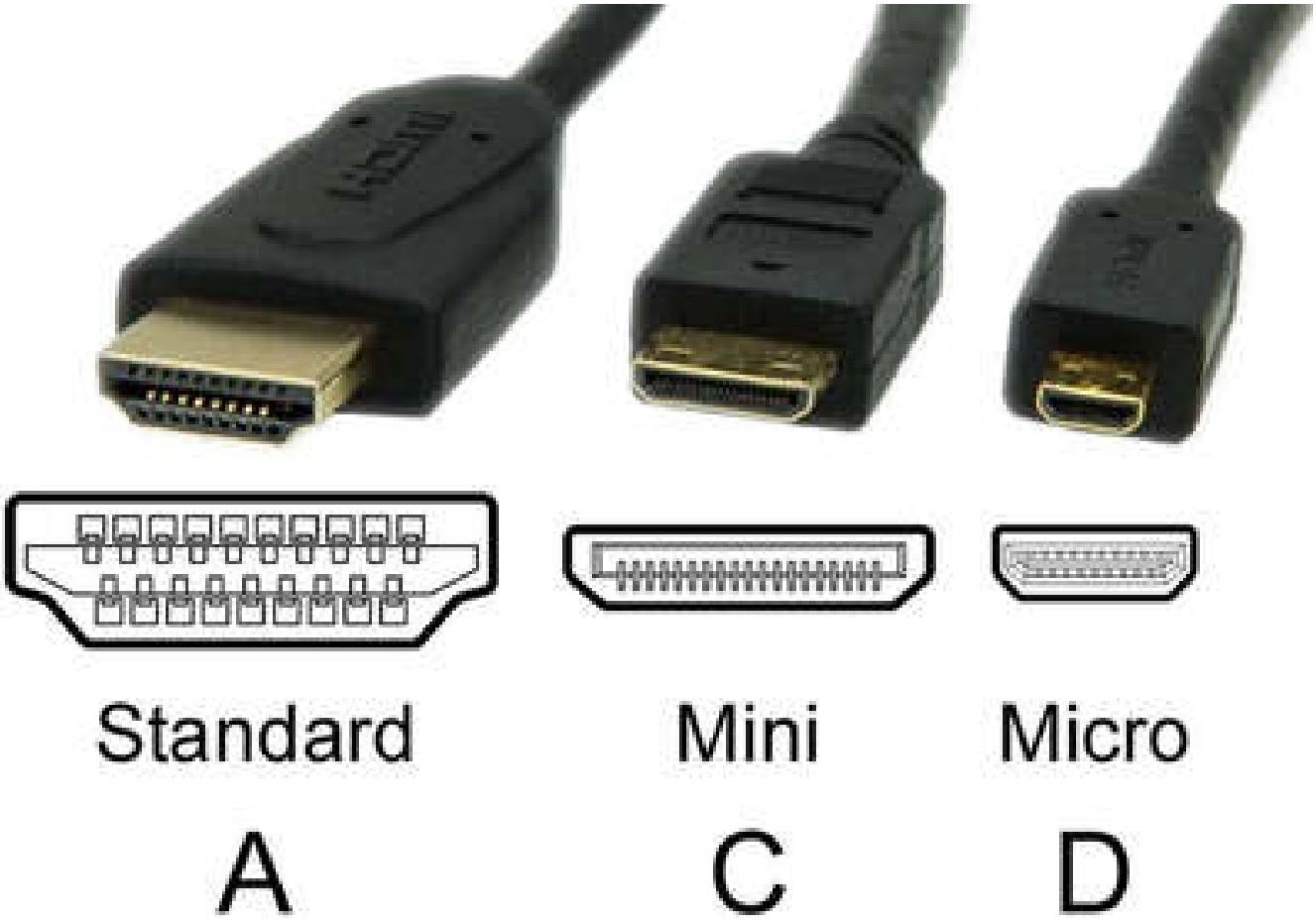
- Jedná se o poměrně letitý standard pro přenos **audiovizuálního výstupu** po kabelových linkách jak ve světě počítačů a herních konzolí, tak audio/videozařízeními spotřební elektroniky (televizory, kamery, přehrávače, rekordéry).
- **HDMI 1.0** je z roku 2003, zakladatelskými společnostmi byly Hitachi, Matsushita (nyní Panasonic), Maxell, Philips, Silicon Image (nyní Lattice Semiconductor), Sony, Thomson (nyní Vantiva) a Toshiba, později Intel.

- Od té doby byl přijat širokou škálou výrobců, viz HDMI.org.
- Na světě se t.č. prodalo více než 10 miliard zařízení s podporou HDMI.

Možnosti HDMI

- Kromě digitálního přenosu video a audio signálu disponuje HDMI kabel řídicím kanálem *Display Data Channel* (DDC), což je komunikační kanál na bázi **I²C** sériové linky definovaný jako VESA standard.
- Přes něj cílové obvykle zobrazovací zařízení (například monitor) posílá zdroji signálu (například počítači) údaje o akceptovaných formátech audia a videa.

HDMI velikosti konektorů



Obr. 6. Velikosti HDMI konektorů

Starší standardy HDMI 1.x

HDMI 1.0 Maximální frekvence pixelového hodinového signálu (pixel clock) je 165 MHz, což postačuje pro rozlišení **1080p a WUXGA (1920×1200)@60 Hz**.

HDMI 1.3 Verze tuto hodnotu zvyšuje na 340 MHz, což umožňuje přenos vyššího rozlišení například **WQXGA, 2560×1600 @60 Hz** prostřednictvím jediného digitálního spoje.

Rozlišení videa přes HDMI



Obr. 7. Rozlišení podporovaná HDMI rozhraními

Nové standardy HDMI 2.x

- Kabel **Ultra High Speed HDMI** byl uveden ve specifikaci **HDMI 2.1** a na trh vstoupil v roce 2020. Je určen pro konfigurace s přenosovou rychlostí až *48 Gbps*.
- Specifikace **HDMI 2.2** umožňuje přenosovou rychlost až *96 Gbps* a využívá novou technologii HDMI Fixed Rate Link. Podporuje širokou škálu zařízení a rozlišení až 4K240 a 8K60 (nekomprimovaně, s 10/12bitovou barevnou hloubkou), včetně 10K, 12K a 16K.

Nové standardy HDMI 2.x (2)

- Nový kabel **Ultra96 HDMI** podporuje až *96 Gbps* a je jediným kabelem, který podporuje všechny aplikace podle specifikace HDMI 2.2. Má velmi nízké EMI rušení, je zpětně kompatibilní se stávajícími HDMI zařízeními a je součástí certifikačního programu **Ultra Cable Certification Program**.
- Označení **Ultra96** mohou výrobci používat pro zařízení, která splňují požadavky HDMI 2.2 a podporují maximální propustnost 64 Gbps, 80 Gbps nebo 96 Gbps. Použití kabelu Ultra96 HDMI je v takovém případě nutné pro zajištění plné šířky pásma.

DisplayPort (1)

- Reakce na potřebu a výrazně *vyšších rozlišení* (4K, 8K) s vysokými obnovovacími *frekvencemi* 60 Hz a více.
- DisplayPort (DP) je standard udržovaný *Video Electronics Standard Association* (VESA)
- Výrobci pro jeho použití musejí být členy VESA (za fixní poplatek).

- Pak dostanou přístup k plné specifikaci a nemusejí platit royalties za každý kus výrobku s DP, jak tomu je u HDMI.

DisplayPort (2)

> **DisplayPort** je první zobrazovací rozhraní, které spoléhá na paketový přenos dat, který je používán u technologií jako je Ethernet, USB a PCI Express.
>
> — Inside Look at DisplayPort 1.2, https://www.extremetech.com/computing/84094-an-inside-look-at-displayport-v12

Vlastnosti

- Na rozdíl od komunikačních standardů jako Ethernet a USB používá DisplayPort menší velikost paketů, která je optimalizovaná pro přenos obrazu a zvuku. Tyto pakety se nazývají **mikropakety**.
- DisplayPort přenáší konkrétní obrazový obsah do konkrétního zobrazovacího zařízení pomocí **mikropaketů**, které jsou cíleně směrovány k danému zařízení.
- DisplayPort verze 1.2 umožňuje podporu až **53 nezávislých obrazových toků**, a to prostřednictvím různých proudů mikropaketů.
- Podporováno je také **více zvukových toků** současně.

Aktuální verze DisplayPort 2.1a, b

- Roku 2022 byl oznámen standard **DisplayPort 2.1** později vylepšený do 2.1a (dovolující délku kabelu 2 m oproti 1 m u 2.1) a 2.1b
- Špičkové soudobé monitory pro herní, multimediální a grafické účely nabízejí rozlišení 4K s obnovovací frekvencí až 240Hz.
- Připojení DP2.1a eliminuje potřebu DSC (*Display Stream Compression*) a umožňují plné **4K@240Hz zobrazení**.

DisplayPort 2.1a, b

Momentální absolutní špička v přenosových rychlostech a tím dosažitelných rozlišení, obnovovacích frekvencí a počtu připojených displejů:

- **UHBR20** (Ultra-high Bit Rate 20) poskytuje nejvyšší šířku pásma, podporuje 80 Gbps, což je 2,5krát více než DisplayPort 1.4a (HBR3).
- Lze zobrazovat 4K@240Hz, 1440P@500Hz, duální 4K@120Hz a čtyři 4K@60Hz bez potřeby DSC.
- Nebo taky extrémní 16K (15360 x 8640) při obnovovací frekvenci 60 Hz.

Kabely pro DisplayPort

- Připojení displejů na DP výstupy vyžaduje pro vyšší úrovně odpovídající kabely certifikované

na příslušnou propustnost:

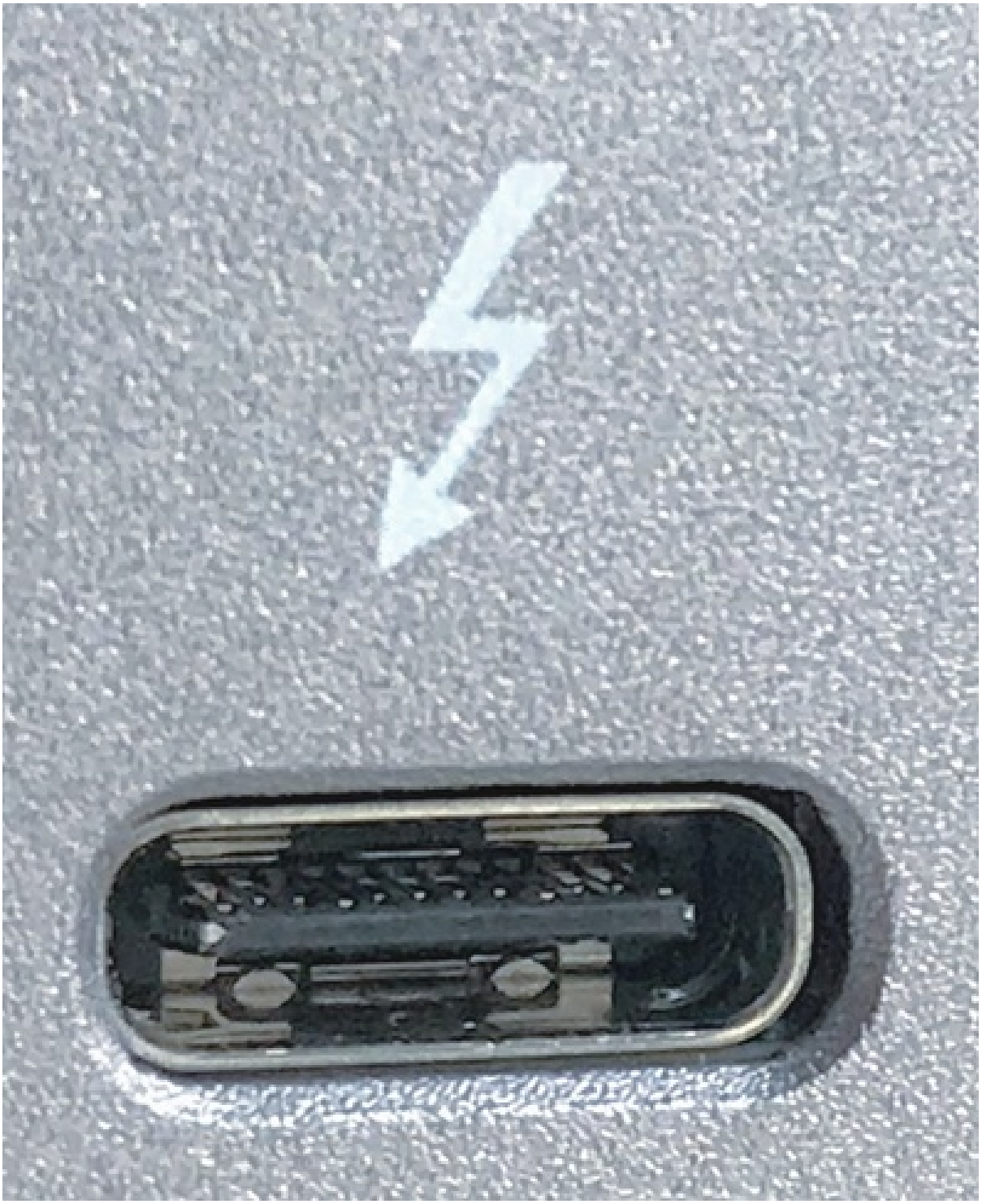
Označení	Režim	Maximální přenosová rychlost
DP40	UHBR10	40 Gbps
DP54	UHBR13.5	54 Gbps
DP80	UHBR20	80 Gbps

Kombinované rozhraní Thunderbolt

- **Thunderbolt** je obchodní značka hardwarového rozhraní pro připojení externích periferií k počítači.
- Vyvinula jej společnost *Intel* ve spolupráci s firmou *Apple*.
- Původně byl vyvíjen pod názvem **Light Peak** a poprvé se objevil v koncovém produktu 24. února 2011.
- Thunderbolt kombinuje *PCI Express* (PCIe) a *DisplayPort* (DP) do dvou sériových signálů a zároveň poskytuje stejnosměrné napájení skrze jediný kabel.

Thunderbolt

- Jeden konektor může podporovat až šest periferií díky různým topologiím.
- Thunderbolt 1 a 2 používají stejný konektor jako *Mini DisplayPort* (MDP).
- Thunderbolt 3, 4 a 5 používají konektor USB-C a podporují i zařízení typu USB.



Universal Serial Bus (USB)

Universal Serial Bus (USB)

- **Univerzální sériová sběrnice** určená pro propojení počítačů a periferií.
- Umožňuje přenos dat a zároveň *napájení* zařízení pomocí jednoho kabelu.
- Podporuje připojení až *127 zařízení*.
- Plnohodnotně nahradí většinu dříve používaných rozhraní:
- Serial port, parallel port, game port, Apple Desktop Bus, PS/2 port i FireWire (IEEE 1394)

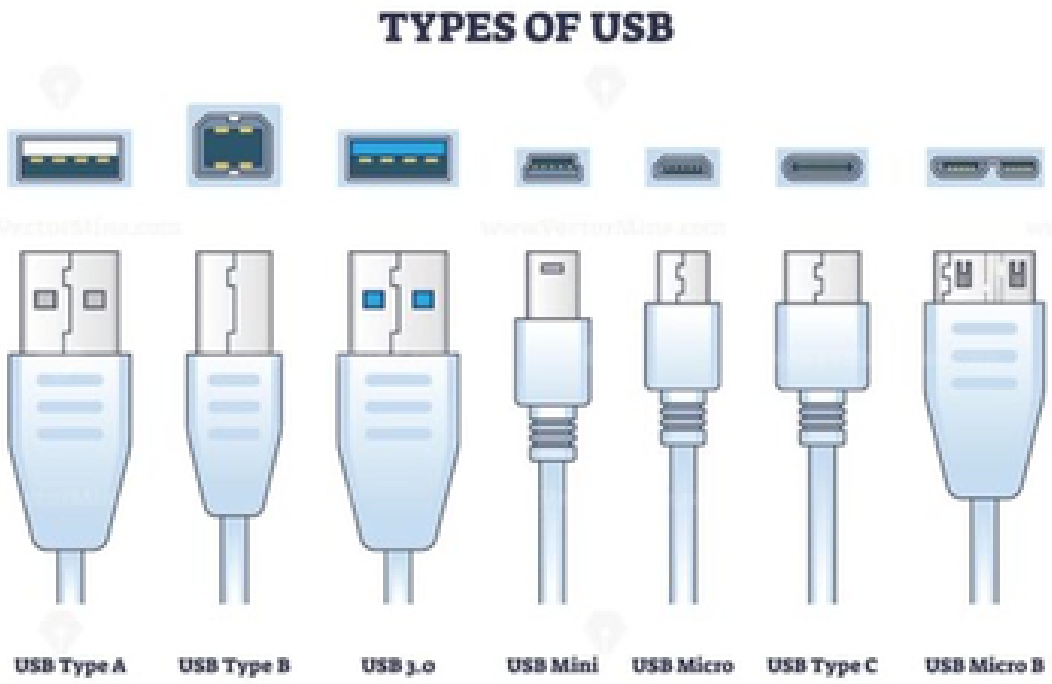
Verze a přenosové rychlosti

USB 1.1	1.5 Mb/s (Low Speed), 12 Mb/s (Full Speed)
USB 2.0	až 480 Mb/s (High Speed)
USB 3.0 / 3.1 Gen 1	až 5 Gb/s (SuperSpeed)
USB 3.1 Gen 2	až 10 Gb/s (SuperSpeed+)
USB 3.2	až 20 Gb/s (s využitím USB-C konektoru)
USB4	20, 40 nebo 80 Gb/s podle generace a schopností zařízení a kabelu

Konektory

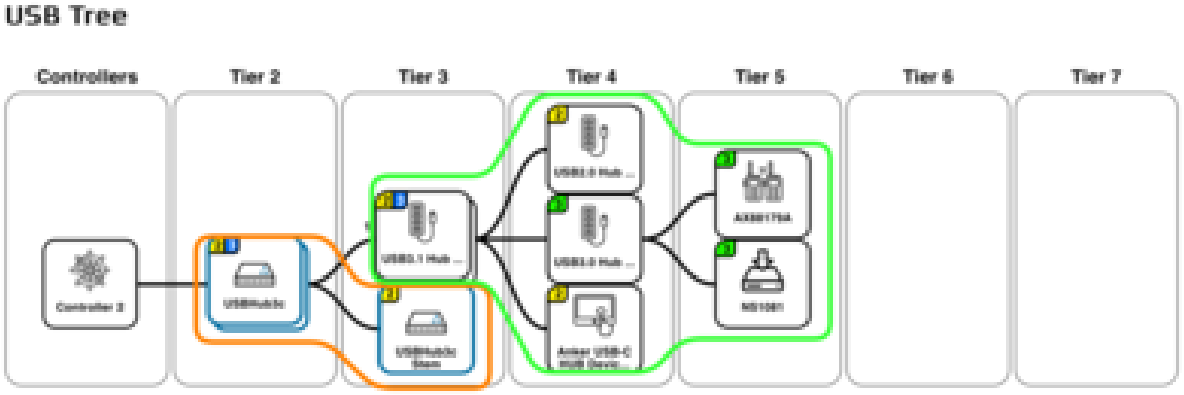
USB-A, USB-B, Mini-USB, Micro-USB, USB-C

- Existuje spousta využití až zneužití USB konektorů obvykle pro napájení nebo dobíjení různých drobných spotřebičů (holicí strojky, zastřihávače)



Vlastnosti

Plug and play	na rozdíl od starších rozhraní se u USB poprvé objevila možnost po připojení zařízení jej rozpoznat, nainstalovat či aktivovat příslušný specifický ovladač a inicializovat ho
Hot swapping	připojit/odpojit zařízení za chodu (starší připojení to nepodporovala a nedoporučovalo se zařízení pod napětím připojovat/odpojovat)
Stromová topologie	PC (host) → USB hub → zařízení
Podpora napájení periferií	v extrémním případě *100 až 240 W*



USB-C

- *USB Type-C* je moderním standardizovaným *24-pinovým* provedením konektoru a kabeláže USB

rozhraní.

- Zaveden v roce 2014 s myšlenkou postupně nahradit starší konektory USB A, B, Mini-USB, ale také Lightning (Apple) a Mini-DV (rovněž většinou Apple).
- USB Type-C je pouze označením provedení konektoru evt. kabeláže, nikoli samotného protokolu.
- Spojuje rychlé datové přenosy, kombinovatelnost s paketovým přenosem video/audio (data + DisplayPort → Thunderbolt) a možnost napájení/dobíjení připojeného zařízení.
- Nikoli každý kabel s USB-C koncovkou výše uvedené funkcionality dovoluje.

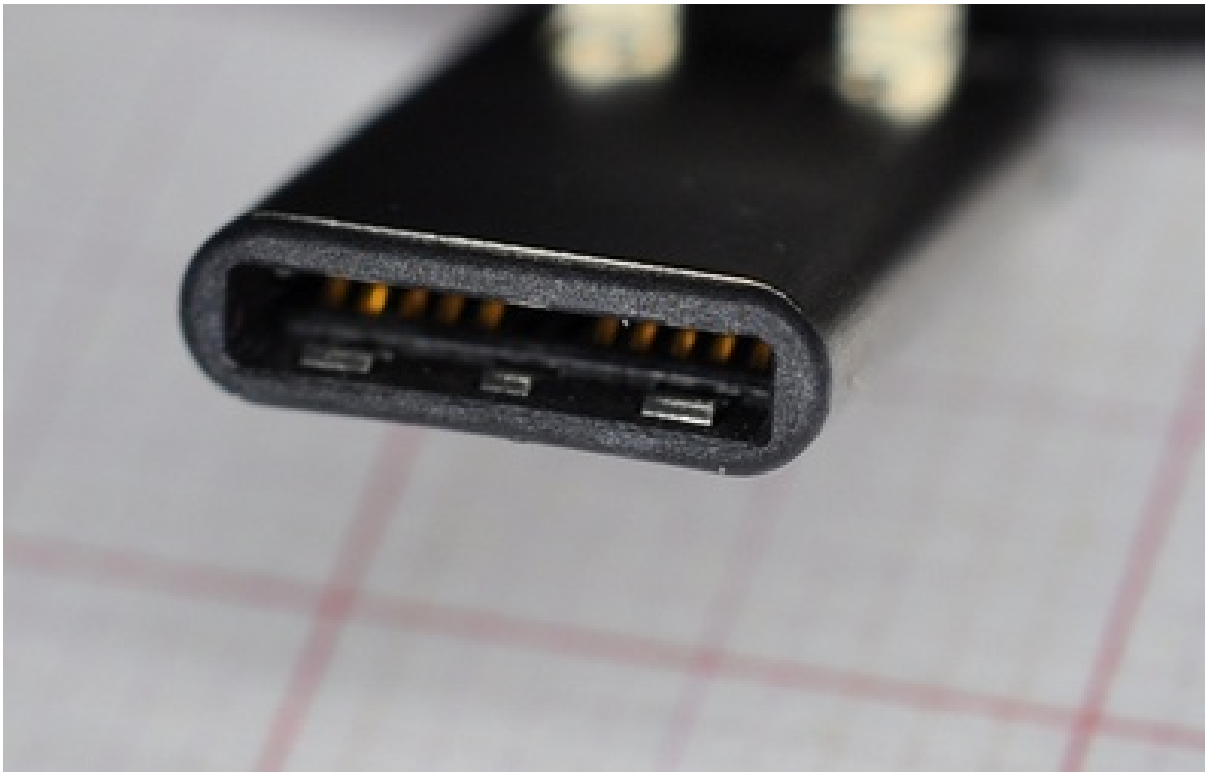
USB4: architektura

- Oficiální název je **USB4**, nikoli USB 4 ani USB 4.0.
- První specifikaci zveřejnilo *USB Implementers Forum* v roce 2019; USB4 Version 2.0 zvýšila maximum na 80 Gb/s.
- Jedno vysokorychlostní propojení lze dynamicky sdílet mezi USB daty, DisplayPortem a dalšími tunelovanými protokoly.
- Zpětná kompatibilita umožňuje připojit starší USB zařízení, avšak jen s jejich vlastnostmi a rychlostí.

USB4: rychlost a konektor

- USB4 pracuje s jmenovitými rychlostmi **20, 40 nebo 80 Gb/s** 

.
- Používá výlučně konektor **USB-C**; stejný tvar konektoru ale nezaručuje podporu USB4.
- Skutečné možnosti určuje společně hostitel, zařízení a kabel.
- Napájení se sjednává odděleně pomocí **USB Power Delivery**.



Obr. 8. USB Type-C

Napájení a nabíjení přes USB

Přehled standardů napájení a nabíjení

USB Battery Charging

starší std vymezující signalizaci, že zdroj je schopen dodat více proudu než je základ pro USB (5 V a 1,5 A).

USB Power Delivery

standard definující možnost přenosu elektrického výkonu pro napájení a dobíjení přístrojů připojených přes USB: tedy data i elektřina.



Bez vyjednání USB Power Delivery zůstává napětí nominálně 5 V. Povolený proud závisí na verzi USB, typu portu a signalizaci Battery Charging nebo USB Type-C; zařízení nesmí vyšší odběr pouze předpokládat.

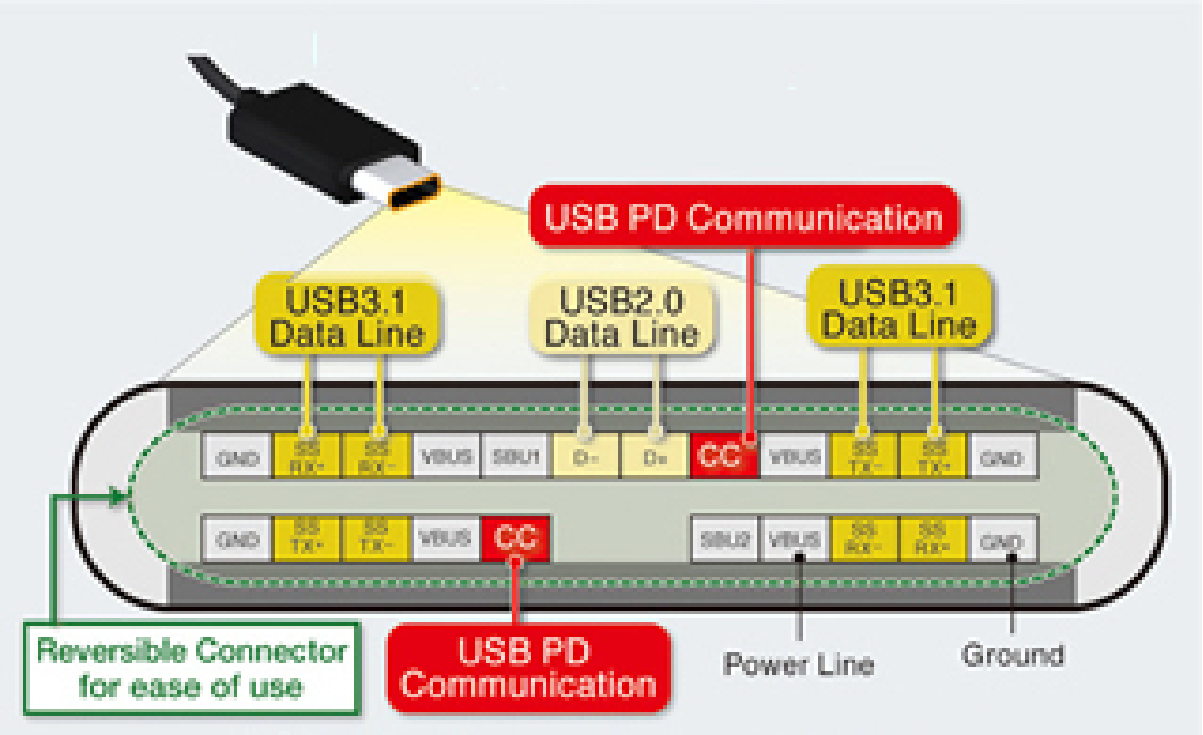
USB Power Delivery (USB-PD)

USB PD do rev. 3.0

dovoluje po dohodě zdroje se zařízením napětí až 20 V a výkon až 100 W.

USB PD 3.1, EPR

přidává pevné úrovně 28, 36 a 48 V; maximum je 240 W (48 V / 5 A) a vyžaduje odpovídající kabel.



Příklady dalších standardů rychlého nabíjení

Huawei	SuperCharge
Motorola	TurboPower
Qualcomm	Quick Charge
Samsung	Adaptive Fast Charging

Průmyslové a IoT sběrnice

Použití průmyslových a IoT sběrnic

- příjem dat z *měřidel* a *senzorů* fyzikálních veličin (proudu, napětí, teplot, tlaku, vlhkosti,…)
- komunikace se speciálními *přenosnými zařízeními* (tokeny, klíče, paměťová média)
- připojení *tiskáren*, *plotterů*
- připojení digitálně řízených *(NC) strojů*
- propojení větších výrobních celků (*linek*)

Sériové: přehled

RS-232	klasika od počítačového pravěku
RS-485	průmyslové vylepšení RS-232, používané dodnes
I²C	pro nízkorychlostní periferie, zkratka z Inter-Integrated Circuit
1-Wire	jednoduché sériové rozhraní pro tokeny, jednoduchá zařízení a IoT
SPI	synchronní sériové rozhraní v IoT

RS-232 ("sériový port")

- **RS-232** (také sériový port nebo sériová linka) se používá jako komunikační rozhraní zejména mezi počítači a jednoduššími periferními zařízeními, jako jsou myši.
- RS-232 nicméně umožňuje vzájemnou sériovou komunikaci dvou zařízení, tzn., bity přenášených dat jsou vysílány postupně za sebou po jednom páru vodičů v každém směru.
- RS-232 je tak bezkolizním fyzickým propojením.

Napěťové úrovně RS-232

datové signály	(tj. `RXD` a `TXD`) logická 0 je +3 V až +15 V, logická 1 je -3 V až -15 V
řídící signály	(tj. `RTS`, `CTS`, `DTR`, `DSR`, …) logická 0 je -3 V až -15 V, logická 1 je +3 V až +15 V

RS-422 a RS-485 (EIA-485)

- RS-422 a **RS-485** jsou novějšími modifikacemi původního sériového rozhraní RS-232.
- RS-485 umožňuje přenos na maximální *vzdálenost až 1200 m*.
- RS-485 se dá použít na *propojení 1 vysílače a až 31 přijímacích zařízení* namísto prostého dvoubodového spoje.
- **RS-422** dovoluje *plně duplexní* (současnou obousměrnou) komunikaci.

- RS-485 využívá dvou vodičů (plus GND) a RS-422 čtyř — pro každý směr jeden pár vodičů.

I²C

- Zkratka je z *Inter-Integrated Circuit* ("I-square-C"), vyvinuto u *Philips*.
- Jde o synchronní sběrnici pro *nízkorychlostní* periferie.
- Umožňují na jedné sběrnici až *128 zařízení*.
- Propojení se děje dvěma obousměrnými signály SDA (data), SCL (hodiny) + napájením (V_{dd}, GND).
- Spol. Atmel (nyní *Microchip*) označuje fakticky stejnou sběrnici jako **TWI** (*Two Wire Interface*).

I²C: příklad čtení registru

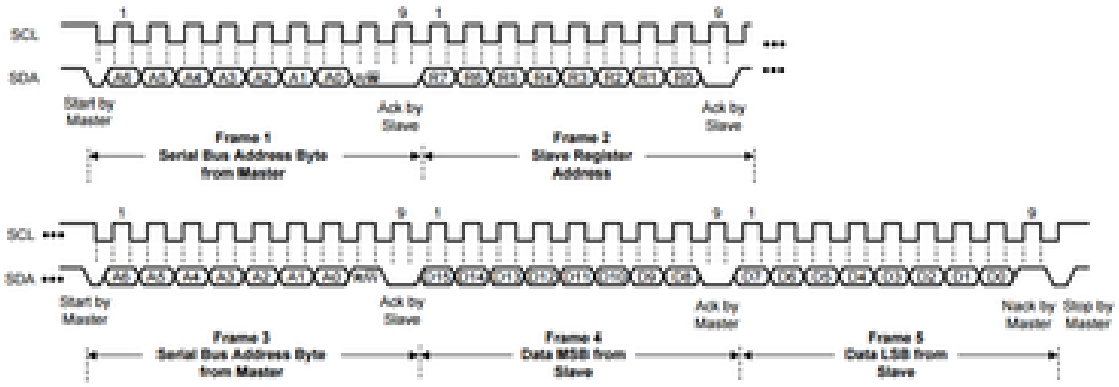


Figure 17. I2C Read Register Sequence

1-Wire

- Jednoduché sériové rozhraní vyvinuté firmou *Dallas Semiconductor* a později spravované Maxim Integrated, který je od roku 2021 součástí Analog Devices.
- Po jednom datovém vodiči komunikuje jedno řídicí zařízení s jedním nebo více podřízenými zařízeními.
- Typické je levné připojení identifikačních čipů, senzorů a malých pamětí.



Obr. 9. iButton používající připojení 1-Wire

Zapojení a napájení 1-Wire

- Datový vodič má *pull-up* rezistor; řadič i zařízení používají výstupy *open-drain* a mohou jej pouze stáhnout do nízké úrovně.
- Úroveň napětí určují použité součástky, typicky jde o 3,3 nebo 5 V.
- Přes název „1-Wire“ je vedle datového vodiče nutné společné uzemnění (GND).
- Některá zařízení lze napájet parazitně z datového vodiče; při vyšším odběru nebo delším vedení se používá samostatné napájení.

Komunikace po 1-Wire

- Komunikace probíhá tak, že řídicí nebo podřízené zařízení krátce stáhne sběrnici do nízké úrovně (LOW), tj. připojí výstup svého MOSFETu k zemi, čímž překlene pull-up rezistor.
- V klidovém stavu drží pull-up rezistor datový vodič v logické jedničce (HIGH).

- Přenosová rychlost může dosáhnout až **16,3 kbps**.
- K dispozici je také režim **overdrive**, který zvyšuje rychlost komunikace přibližně 10násobně.

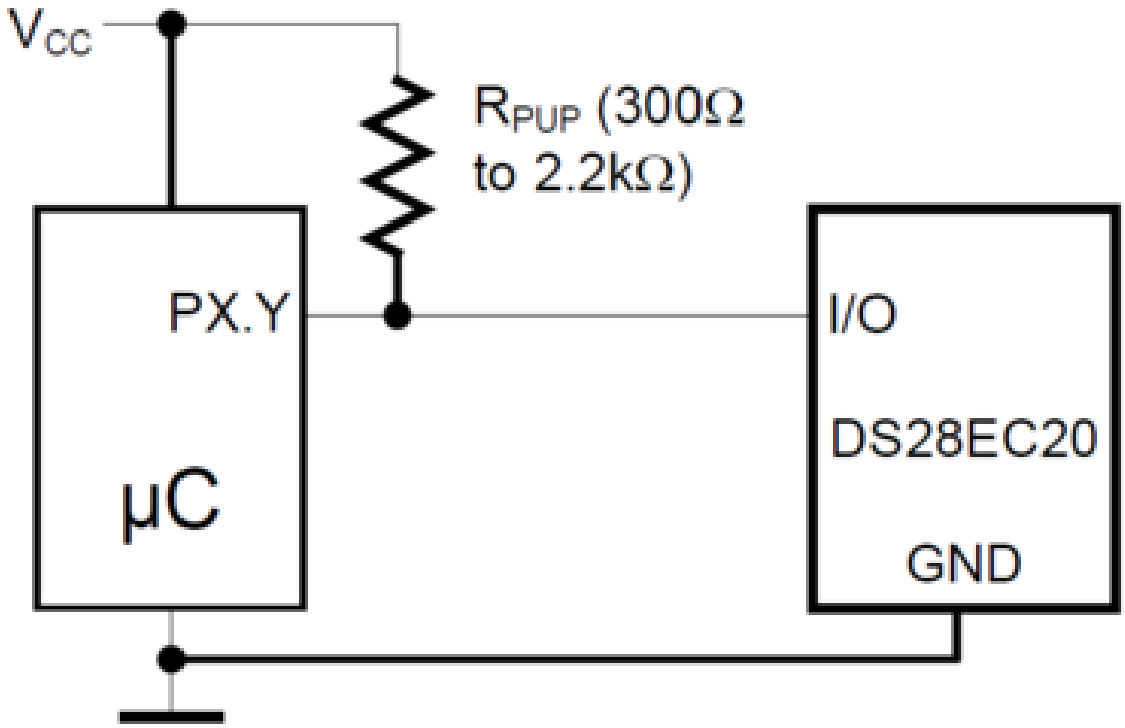
Použití 1-Wire

- Často pro blízké kontaktní připojení různých tokenů (**iButton**) pro přístupové systémy, identifikaci, spínání.
- Každé zařízení má *unikátní 64bitový identifikátor* (někdy nepřepsatelný, někdy ano).
- Když spojení na delší vzálenosti, pak typicky *kroucená dvojlinka* (Twisted-pair),
- ale lze prakticky cokoli, co má dva vodiče, ideálně s co nejnižším odporem, dle vzdálenosti.

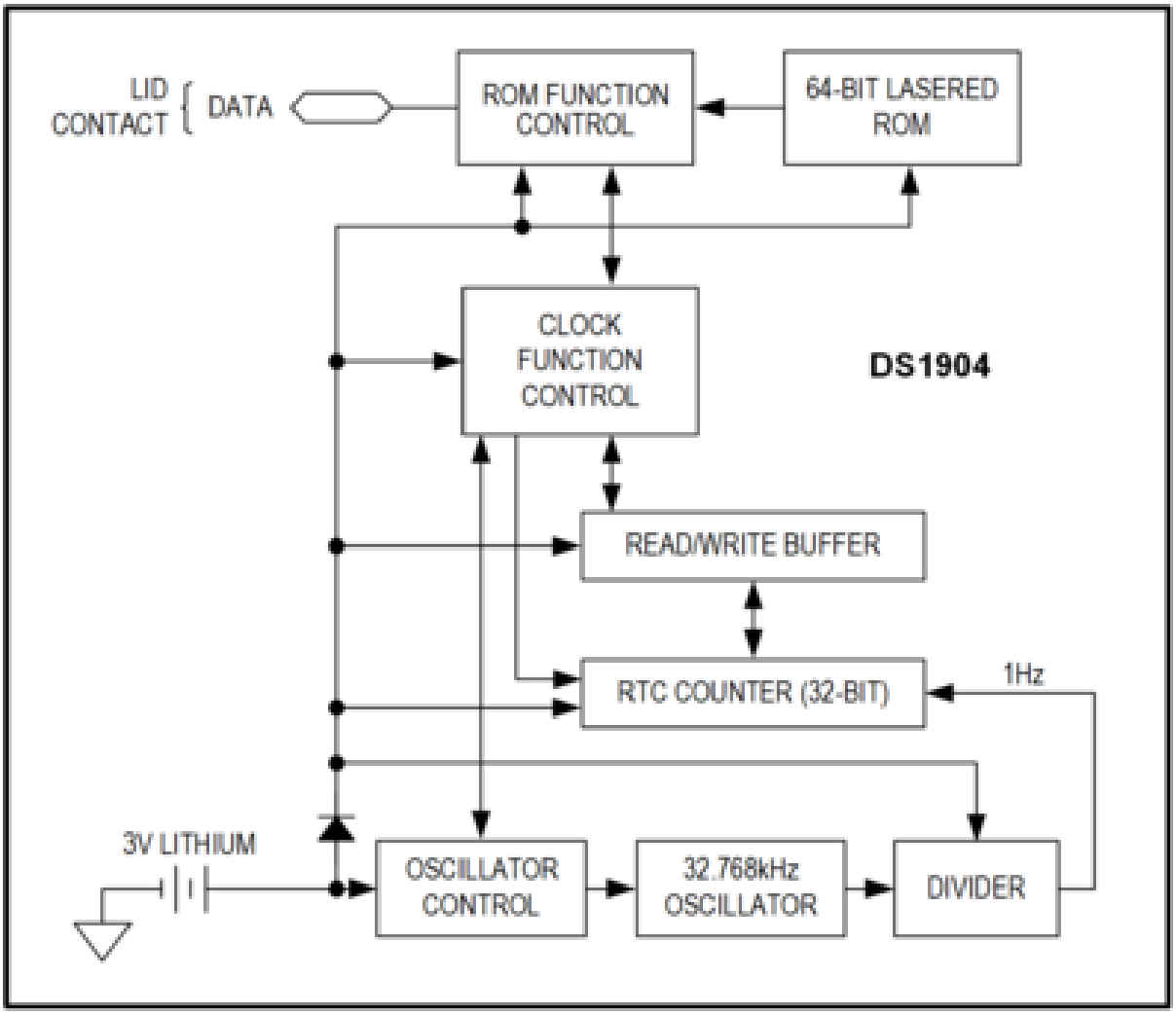
Pokročilejší zařízení

Kryptografické čipy	DS1963S: 512-bit SHA-1, aplikace v autentizaci s nekopírovatelnými klíči.
Teplotní čidla	DS18B20: digitální teplotní senzor (9–12bit rozlišení) s rozsahem -55°C to +125°C.
Sériová EEPROM	DS28EC20: 1-Wire EEPROM s různou kapacitou pro ukládání nastavení, licenčních kódů apod.
Záznam hodnot	DS1923: logování teploty a vlhkosti např. v chladírenském řetězci
Hodiny reálného času	DS1904: iButton s RTC

Příklady EEPROM a RTC



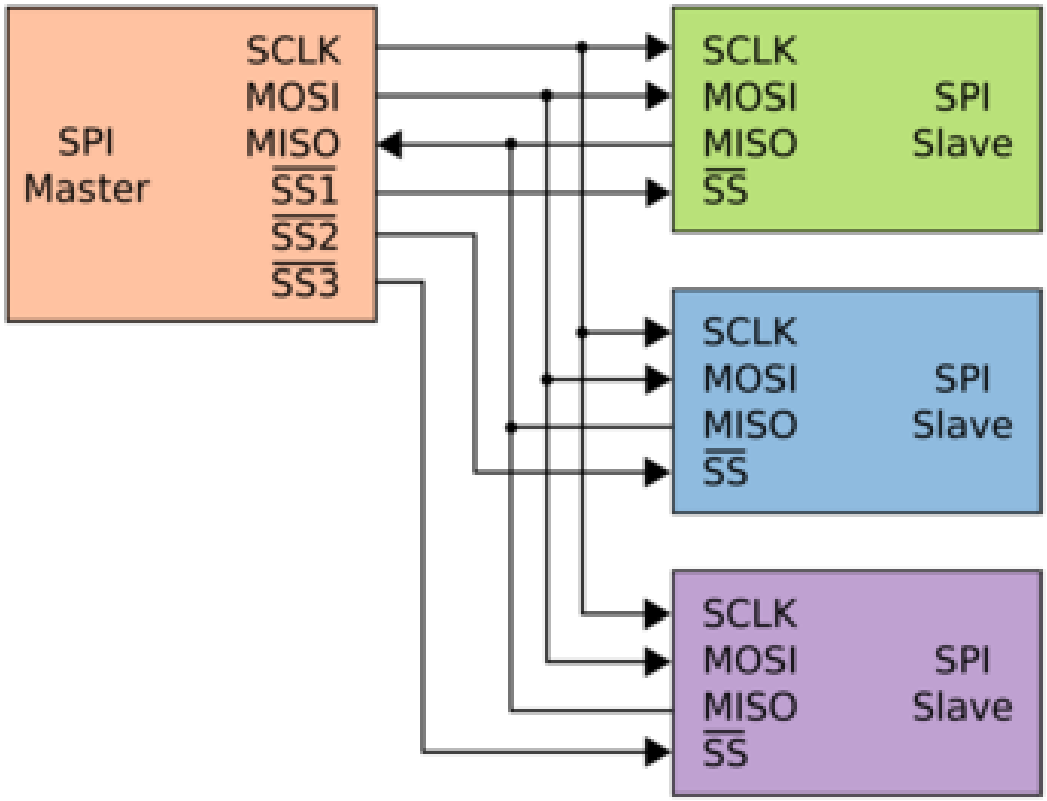
Obr. 10. 20Kb Serial EEPROM Operates from Single-Contact 1-Wire Interface



Obr. 11. Hodiny reálného času, DS1904 iButton RTC

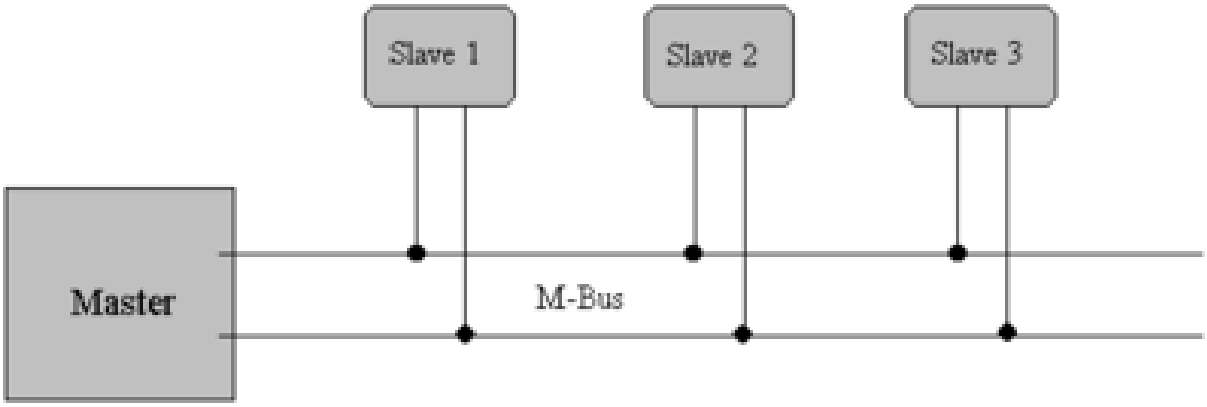
SPI

- Serial Peripheral Interface
- synchronní sériová sběrnice typu *master/slave*



Obr. 12. Obsluha více slave zařízení pomocí selekčních signálů (Slave Select)

M-Bus



Obr. 13. M-Bus síť

- *Open Metering System* (OMS-Group) M-Bus: The Standard for Remote Reading of Smart Meters
- Evropský standard (*EN 13757-2* pro fyzickou vrstvu, *EN 13757-3* pro aplikační vrstvu) pro vzdálený *odečet měřičů energií* (smart metering), který pomocí dvou vodičů obstará jak

napájení, tak komunikaci.

- viz též český popis https://automatizace.hw.cz/mbus-meterbus-zakladni-popis-komunikacniho-modelu

Princip komunikace na M-Bus

- *Brána* M-Bus (master) vysílá jinak než *měřidlo* (slave).
- Napětí na sběrnici je cca 36 V DC (H = logická 1), které při vysílání brány klesá na 24 V (L = logická 0).
- Měřidla naopak vysílají změnou velikosti odebíraného proudu, jedno měřidlo má klidový odběr 1,5 mA (signalizuje tak logickou 1), zatímco nárůst na 11 až 20 mA udává logickou 0.

Rozsah sběrnice

- Na jedné sériové sběrnici může být připojeno až 250 stanic.
- Délka segmentu může být až 1000 m při rychlosti 300 baudů nebo
- 350 m při maximální rychlosti 9600 baudů.

Modbus

- Modbus zaveden spol. Modicon (1979), později Schneider Electric (1997) a Modbus Organization (2004)
- Otevřeně publikovaný a *bez licenčních poplatků* (royalty-free).
- Vhodný pro *průmyslové* aplikace.
- Relativně snadný na nasazení a údržbu.
- Má *minimální omezení* na formát přenášených dat.
- Modbus existuje v několika variantách podle typu přenosového média a protokolu.



Obr. 14. Modbus

Modbus RTU

- Varianta pro *místní průmyslové sítě* například uvnitř areálu

- Běží přes sériovou linku (např. *RS-485 nebo RS-232*)
- Data jsou kódována binárně (kompaktní a efektivní)
- Přesná časování – důležité pro spolehlivost komunikace
- Vhodné pro prostředí s malým rušením a krátkými vzdálenostmi

Modbus over TCP/IP

- Běží přes *Ethernet/IP* sítě
- Data jsou přenášena v rámci TCP/IP rámců
- Vyšší flexibilita, možnost připojení přes LAN/WAN
- Lepší pro vzdálené monitorování, *moderní SCADA a IoT aplikace*
- Použití tam, kde netřeba přesné časování

Bezdrátová propojení

Přehled bezdrátových propojení

IrDA	infračervený přenos (dálkové ovladače)
Bluetooth	rádiový datový přenos na 2.4 GHz (audio, data)
RFID	identifikace zboží, přístupové systémy
NFC	sofistikovaná výkonná komunikace na velmi krátkou vzdálenost (platební čipy)



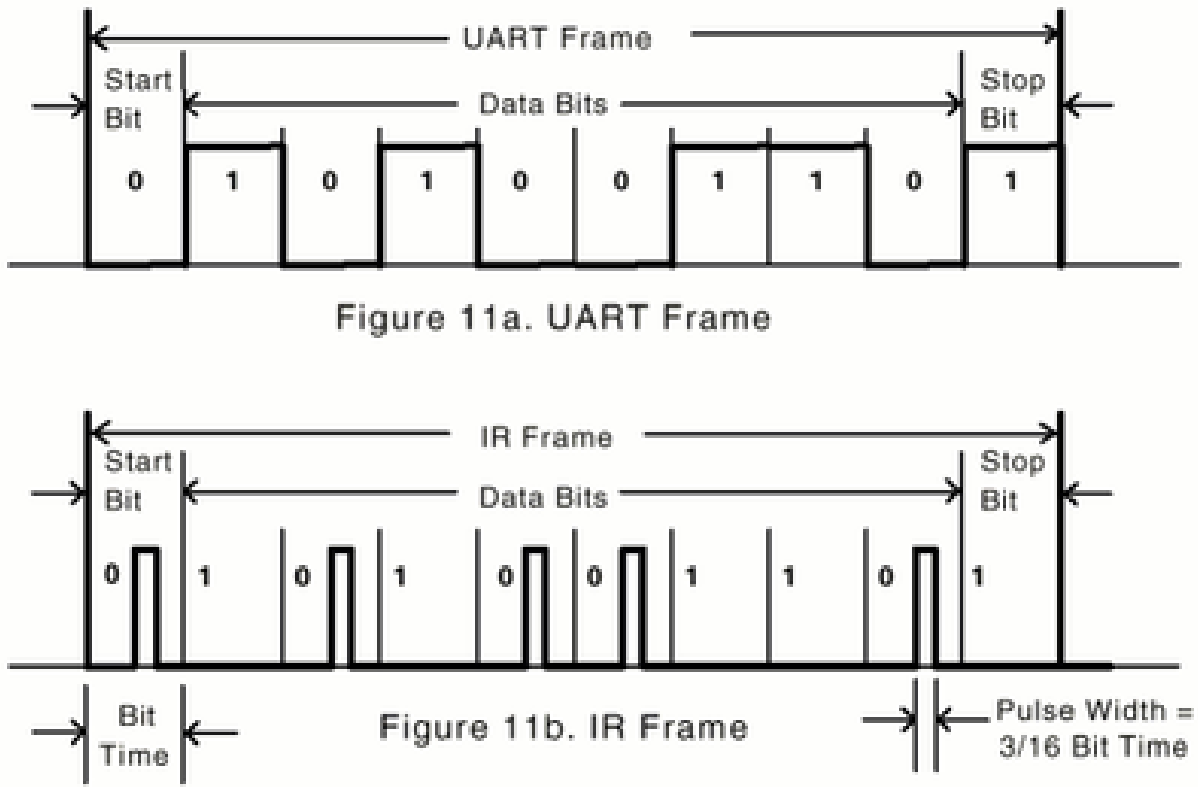
Záměrně zde neprobíráme počítačové sítě a jejich technologie.

IrDA

- Infračervený přenos: **LED** (nebo *laserová LED*) ve vysílači, **fotodioda** v přijímači.
- Rychlosti (IrDA 1.0) jsou 2400 bps—115,2 kbps.
- Až 1 Gbps (Giga-IR)
- Krátký dosah, vyžaduje přímou viditelnost

IrDA modulace, formát

- *Pulzní modulace* (LED nemůže svítit stále plným výkonem), např. 3/16 délky bitu
- Formát dat je jako při sériovém přenosu (asynchronní přenos se start bitem).
- Specifikace zdarma na https://www.irda.org/standards/specifications



Obr. 15. Modulace a formát dat IrDA

Použití IrDA: minitiskárna naměřených dat



Obr. 16. Termotiskárna s IrDA připojením

Bluetooth

- Bezdrátová (rádiová) komunikace v pásmu **2.4 GHz**
- Dosah: 10 / 50 / 100 / až 400 m (verze 5)
- Propojuje PC, mobily, sluchátka, tiskárny, myši
- Nevyžaduje přímo viditelnost
- Částečně kompatibilní s *NFC*, viz dále

Bluetooth LE (BLE)

- **Bluetooth Low Energy** je od Bluetooth 4.0 úsporná varianta určená hlavně pro senzory, majáky, nositelnou elektroniku a ovládací prvky.

- Pracuje v pásmu 2,4 GHz na 40 kanálech; povinná je fyzická vrstva LE 1M, volitelné jsou rychlejší LE 2M a LE Coded s delším dosahem.
- Zařízení může vysílat krátká *advertising* data bez spojení nebo navázat spojení rolí *central* a *peripheral*.
- Aplikační data se obvykle organizují pomocí služeb a charakteristik protokolu **GATT**.
- BLE není totéž co Bluetooth Classic; obě varianty mohou podporovat takzvaná dvourežimová zařízení. Bluetooth Mesh je samostatné síťové řešení nad BLE.

RFID

- *Radio Frequency Identification*
- Původně jako chytrá náhrada čárového kódu (barcode) na zboží, kdy je možná identifikovat nejen *typ výrobku* (a *výrobce*), ale i každý *kus*.
- Operuje se v různých frekvenčních pásmech podle toho, co dovoluje regulativa v dané zemi.

Identifikace čipů

- EPC *Electronic Product Code* jako 96bitové unikátní číslo na RFID čipu:
- přiděluje se centrálně výrobcům, každý obdrží svou číselnou řadu,
- až 268 milionů *výrobců* (28 bitů, identifikace výrobce),
- každý 16 milionů *druhů výrobků* (24 bitů, pro třídy),
- v každé třídě prostor pro 68 miliard *sériových čísel* (36 bitů, pro kusy výrobků).

Použití u zboží

- Pasivní UHF tag s kódem **EPC** se připevní na kus, balení, karton nebo paletu.
- Pevné čtečky u bran a dopravníků nebo ruční terminály načtou více tagů bez přímé viditelnosti.
- Mezivrstva odfiltruje opakovaná čtení a přiřadí událost ke konkrétnímu místu a procesu.
- Informační systém, například podle standardu EPCIS, zaznamená co, kdy, kde, proč a jak se se zbožím stalo.
- Využití zahrnuje příjem a expedici, inventuru, dohledatelnost šarží, ochranu proti záměně a automatické doplňování skladu.
- Tag obvykle nenese celou kartu výrobku: identifikátor odkazuje na podrobná data v podnikovém nebo sdíleném systému.

Design systému

- Jednotlivé *kusy* (výrobky, ale třeba i klíče/čipy pro otvírání dveří) jsou označeny pomocí **tagů** (tags, labels),
- čtečka RFID je obousměrným radio-vysílačem-přijímačem označovaným také jako *interrogator*, - čtečka *pošle* signál tagu a *přijme* od něj odpověď,

- v případě *aktivního* RFID tagu může tag periodicky vysílat i sám (musí být pak vybaven baterií)

Složení tagu

Tag se skládá z čipu a antény:

1. čip obsahuje **identifikační kód** + evt. další **data**,
2. přijímač a vysílač signálu,
3. anténa, pro příjem, vysílání, ale i nashromáždění energie v případě pasivního tagu.

RFID v pásmu LF

- **LF** systémy pracují nejčastěji v oblasti 125—134,2 kHz.
- Mají krátký dosah, zpravidla centimetry až desítky centimetrů, a nižší přenosovou rychlost.
- Relativně dobře snášejí blízkost vody a biologických tkání.
- Použití: identifikace zvířat, imobilizéry automobilů a jednoduché přístupové systémy.

RFID v pásmu HF

- **HF** RFID pracuje na 13,56 MHz; do této rodiny patří i technologie NFC.
- Typický dosah je od několika centimetrů do přibližně jednoho metru podle standardu, antény a výkonu čtečky.
- Použití: bezkontaktní karty, knihovny, identifikace předmětů a NFC aplikace.
- Vazba je převážně magnetická, proto jsou antény čtečky a tagu obvykle tvořeny cívkami.

RFID v pásmu UHF

- **UHF** RFID používá podle regionu přibližně 860—960 MHz.
- Pasivní tagy lze za vhodných podmínek číst na vzdálenost několika metrů a ve větších skupinách.
- Použití: logistika, skladové inventury, evidence majetku, výrobní linky a maloobchod.
- Dosah silně ovlivňuje orientace antény, okolní kov, kapaliny, povolený vysílací výkon a regionální kmitočtové pásmo.

NFC

- Near-Field Communication vznikl rozšířením a vylepšením RFID,
- realizuje *komunikaci na velmi krátkou vzdálenost* (do 4 cm), výjimečně u specifických standardů do 1,5 m,
- pracuje v pásmech 13,56 MHz na ISO/IEC rádiovém rozhraní,
- s přenosovými rychlostmi od 106 kbit/s do 424 kbit/s,

- je definován mezinárodními standardy ISO/IEC 14443, japonským (Sony) JIS X 6319 pod názvem FeliCa a ISO/IEC 15693

Přehled bezdrátových technologií

Krátký dosah: Wi-Fi, Bluetooth a Zigbee

Technologie	Využití	Dosah	Spotřeba	Rychlost	Typ sítě
Wi-Fi	Domácnosti, kanceláře, průmysl	~50–100 m	Vysoká	Vysoká (až stovky Mbps)	LAN
Bluetooth / BLE	Nositelná zařízení, krátké přenosy	~10–100 m (BLE méně)	Nízká (BLE velmi nízká)	Nízká–střední	PAN
Zigbee	Automatizace domácnosti, průmysl	~10–100 m (mesh síť)	Nízká	Nízká (až 250 kbps)	Mesh

Mesh a LPWAN: Z-Wave, LoRaWAN a Sigfox

Technologie	Využití	Dosah	Spotřeba	Rychlost	Typ sítě
Z-Wave	Domácí automatizace	~30–100 m	Nízká	Nízká (až 100 kbps)	Mesh
LoRa / LoRaWAN	Dálkový monitoring, senzory	~2–15 km (i víc)	Velmi nízká	Velmi nízká (až 50 kbps)	LPWAN
Sigfox	Jednoduché senzory, vzdálené oblasti	~10–50 km	Velmi nízká	Velmi nízká (až 100 bps)	LPWAN

Mobilní a IP sítě: NB-IoT, 5G a Thread

Technologie	Využití	Dosah	Spotřeba	Rychlost	Typ sítě
NB-IoT / LTE-M	Průmyslové IoT, měřiče, infrastruktura	Všude, kde je mobilní signál	Nízká	Nízká–střední	Mobilní (cellular)
5G (NR)	Průmyslové aplikace, vozidla, města	~100 m až kilometry	Střední–vysoká	Vysoká (až Gb/s)	Mobilní (cellular)
Thread	Chytrá domácnost, IPv6 zařízení	~10–100 m (mesh)	Nízká	Nízká–střední	Mesh (IP)

Na další kapitolu: Grafické adaptéry, zobrazovací jednotky, GPU

HTML · Slides · PDF | Přehled předmětu