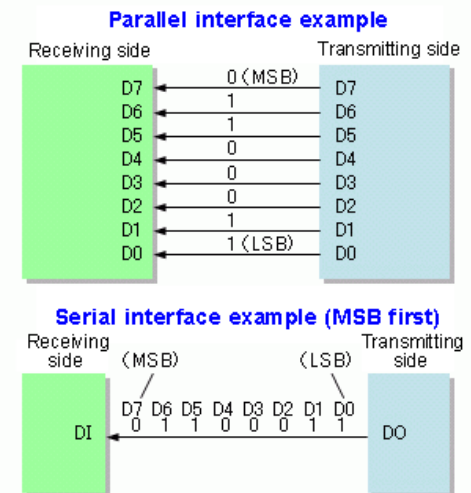


# Architektura počítačů

03

# Sběrnice (Bus)

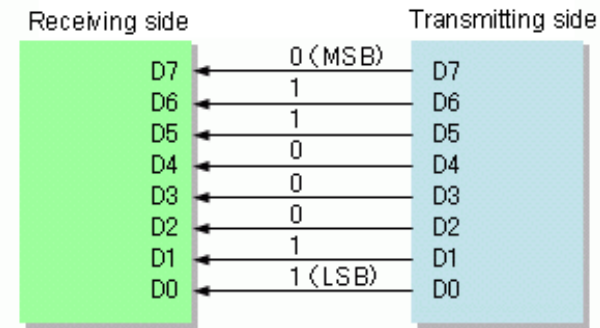
- Skupina signálových vodičů
  - zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více zařízeními.
  - Přenos dat na sběrnici se řídí stanoveným protokolem.
  - V případě modulární architektury zařízení
    - sběrnice je po mechanické stránce vybavena konektory uzpůsobených pro připojení modulů.
- Paralelní sběrnice
  - Řídící, adresové, datové vodiče
- Sériová sběrnice
  - sdílení dat a řízení na společném vodiči (nebo vodičích)



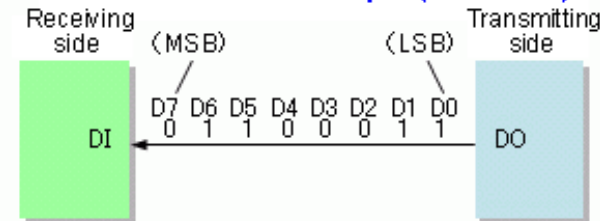
# Parallel x Serial

- Paralelní sběrnice
  - Paralelní přenos po více drátech
- Sériová sběrnice
  - Přenos po bitech
- problémy paralelní sběrnici
  - Časování
  - Elektromagnetická interference
  - přeslechy
  - Energetická náročnost

Parallel interface example



Serial interface example (MSB first)

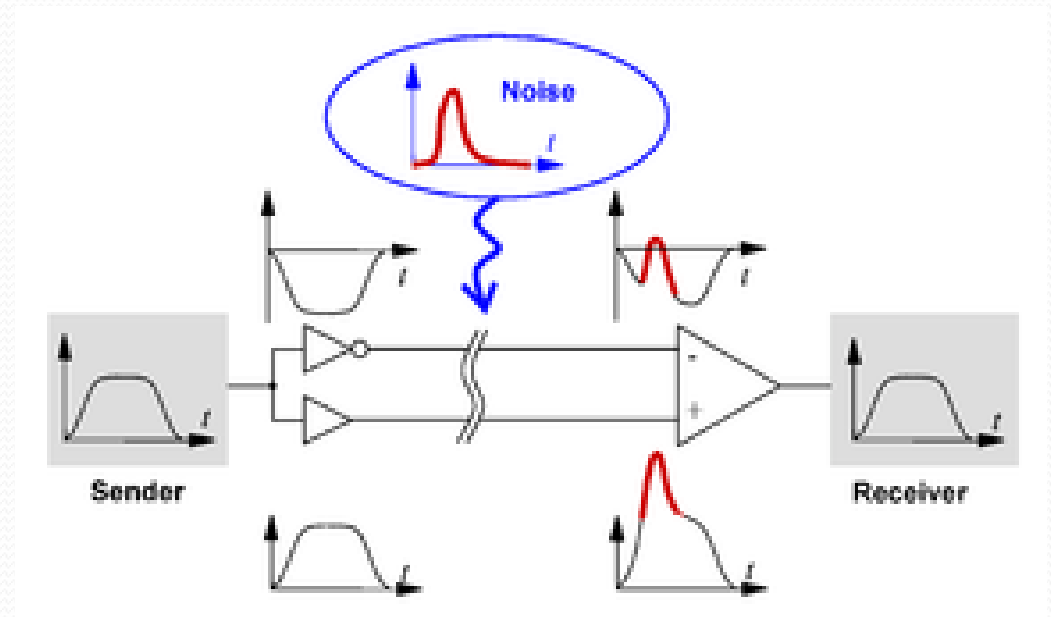
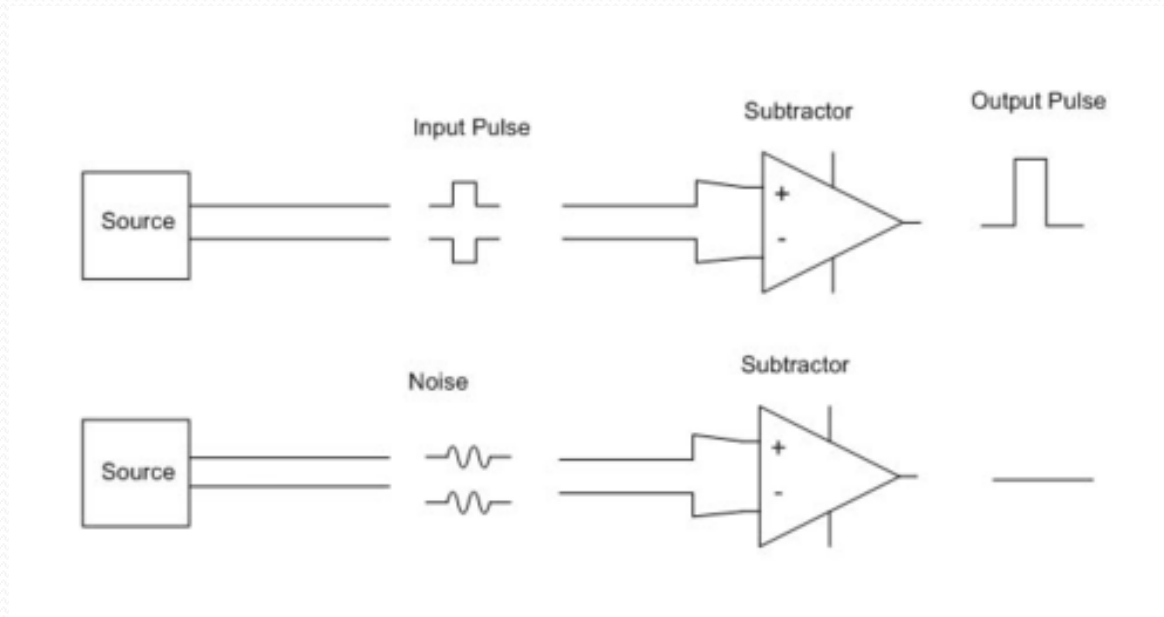


# Sběrnice (Bus)

- Přenos datové informace po fyzikální stránce
  - pomocí změny el. napětí
    - napětí vůči společnému bodu (signálová zem)
    - diferenciální (rozdíl napětí na dvou vodičích)
  - Pomocí změny el. proudu.
    - směr toku proudu (dva stavy)
    - Větší odolnost proti elektromagnetickému rušení.

# Diferenciální přenos

- rozdíl napětí na dvou vodičích



# Sběrnice (Bus)

- ISA (Industry Standard Architecture)
- MCA (Micro Channel Architecture)
- EISA (Extended Industry Standard Architecture)
- VESA (VL-Bus)
- PCI (Peripheral Component Interconnect)
- PCI – X
- PCI Express
- AGP (Accelerated Graphics Port)
- ...

# PC BUS (8bit ISA)

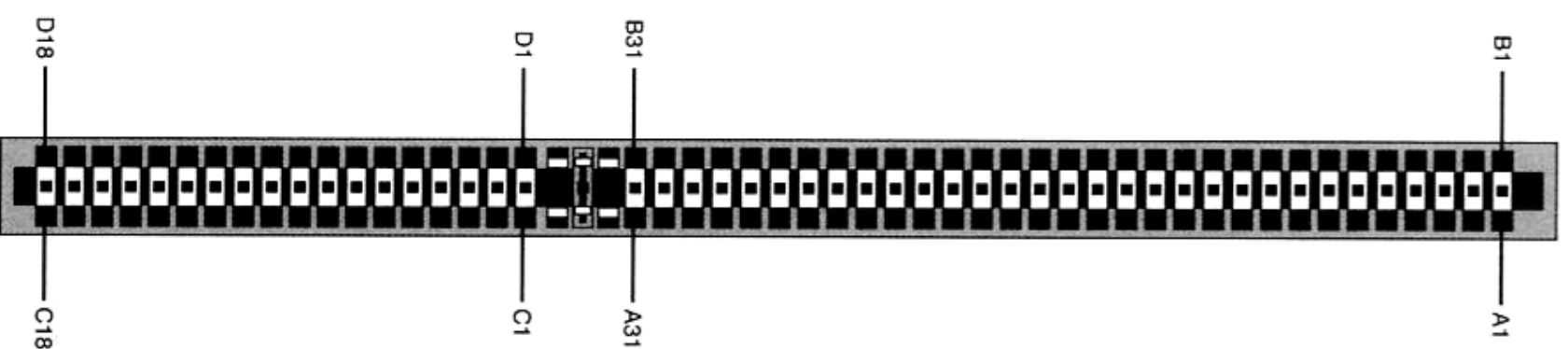
- Navržena firmou IBM pro první PC/XT
- Celkem 62 vodičů
  - 8bit přenos dat po 8 linkách
  - 20 vodičů pro přenos adresy
  - Přerušení (6), DMA (3)
  - Napájení (+5V,-5V,+12V + zem)
  - Řídící signály
- Sloty zapojeny paralelně
- Frekvence 8 MHz

# ISA (Industry Standard Architecture)

- IBM v roce 1981, dříve označována jako AT bus
- 16bit datová sběrnice a 24bit adresová
- Zpětná kompatibilita
- Rozšíření o 36 vodičů
- 4 DMA kanály a 5 IRQ linek
- Základní frekvence – 4,77 , 8 , 10 , 12 a 16 MHz.
- Blokový přenos dat byl na počátku řešen tak, že řízení sběrnice převzalo externí zařízení.
  - Později se využilo DMA kanálů.
- Přenos dat probíhal přes synchronní protokol



Signál	Vývod	Vývod	Signál
Země	B1	A1	I/O CH CHK
RESET DRV	B2	A2	Dotový bit 7
+5 V	B3	A3	Dotový bit 6
Přerušení 9	B4	A4	Dotový bit 5
-5 V	B5	A5	Dotový bit 4
DRQ 2	B6	A6	Dotový bit 3
-12 V	B7	A7	Dotový bit 2
-0 WAIT	B8	A8	Dotový bit 1
+12 V	B9	A9	Dotový bit 0
Země	B10	A10	I/O CH RDY
-SMEMW	B11	A11	AEN
-SMEMR	B12	A12	Adresa 19
-IOW	B13	A13	Adresa 18
-IOR	B14	A14	Adresa 17
-DACK 3	B15	A15	Adresa 16
DRQ 3	B16	A16	Adresa 15
-DACK 1	B17	A17	Adresa 14
DRQ 1	B18	A18	Adresa 13
-Obnovení	B19	A19	Adresa 12
Hodiny (8,33 MHz)	B20	A20	Adresa 11
IRQ 7	B21	A21	Adresa 10
IRQ 6	B22	A22	Adresa 9
IRQ 5	B23	A23	Adresa 8
IRQ 4	B24	A24	Adresa 7
IRQ 3	B25	A25	Adresa 6
-DACK 2	B26	A26	Adresa 5
T/C	B27	A27	Adresa 4
BALE	B28	A28	Adresa 3
+5 V	B29	A29	Adresa 2
Oscilátor (14,3 MHz)	B30	A30	Adresa 1
Země	B31	A31	Adresa 0
-MEM CS16	D1	C1	-SBHE
I/O CS16	D2	C2	Latch adresa 23
Přerušení 10	D3	C3	Latch adresa 22
Přerušení 11	D4	C4	Latch adresa 21
Přerušení 12	D5	C5	Latch adresa 20
Přerušení 15	D6	C6	Latch adresa 19
Přerušení 14	D7	C7	Latch adresa 18
-DACK 0	D8	C8	latch adresa 17
DRQ 0	D9	C9	-MEMR
-DACK 5	D10	C10	-MEMW
DRQ 5	D11	C11	Dotový bit 8
-DACK 6	D12	C12	Dotový bit 9
DRQ 6	D13	C13	Dotový bit 10
-DACK 7	D14	C14	Dotový bit 11
DRQ 7	D15	C15	Dotový bit 12
+5 V	D16	C16	Dotový bit 13
-Master	D17	C17	Dotový bit 14
Země	D18	C18	Dotový bit 15



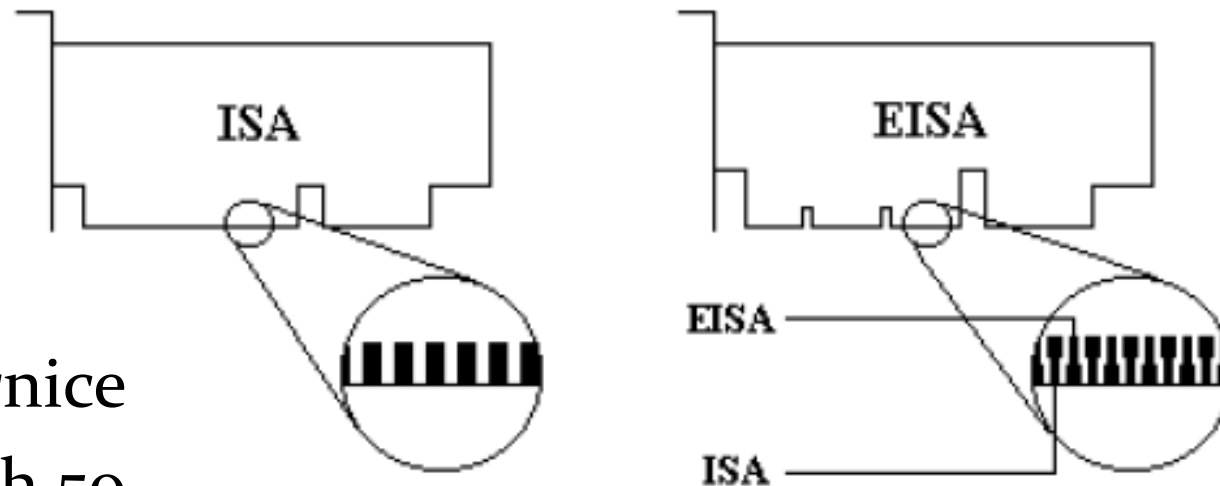
**Obr. 3.40** Rozmístění vývodů na konektoru 16bitové sběrnice ISA.  
Původní 8bitová část je v horní části obrázku

# MCA

- Vyvinuta pro IBM PS/2
- Nekompatibilní s ISA
- Data může přenášet po 16 i 32 bitech
- Proudový režim – současný přenos 64bitů
- Frekvence 10 MHz
- Adresová část 24bitů pro 286 a 32bitů pro 386
- V 16b verzi má 2x58 kontaktů
  - video rozšíření o dalších 2x10 kontakty
- 32b verzi je dále rozšířena o 2x31 kontaktů

# EISA

- Šířka toku dat 32b
- Šířka adresy 32b
- Frekvence 8,33 MHz
- Busmastering – sdílené řízení sběrnice
- Slot vychází z ISA (62+36) + dalších 59



Rozmístění vývodů ISA a EISA sběrnice

# VESA Local Bus

- Vesa – Video Electronic Standards Assoc.
- Šířka přenosu dat i adresy je 32 bitů
- Teoretická mez je 50MHz
  - Prakticky pouze 33 MHz při 3 slotech
  - Silná procesorová závislost
- Burst (souvislý) režim – redukce adres při přenosu
- Konektor má 2x58 vývodů, nachází se za 16 bitovým slotem
- Návrh VL-Bus je velice jednoduchý.
  - Hlavní konstrukční vlastnost je, že přebírá vývody z procesoru 486 a přenáší je na konektory karty.
    - Závislost na CPU 486.

# VESA Local Bus

- Sloty VL-Bus nabízí přímý přístup do systémové paměti rychlostí odpovídající rychlosti procesoru.
- Omezení rychlosti.
  - Teoretická rychlost je až 66 MHz
    - Vlastnosti konektorů omezují na rychlost 40 až 50 MHz.
    - Praktický provoz při více než 33 MHz přináší řadu problémů
- Standardně navržena pro připojení tří karet.
  - na 50 MHz je možné připojit jen jednu kartu

# PCI

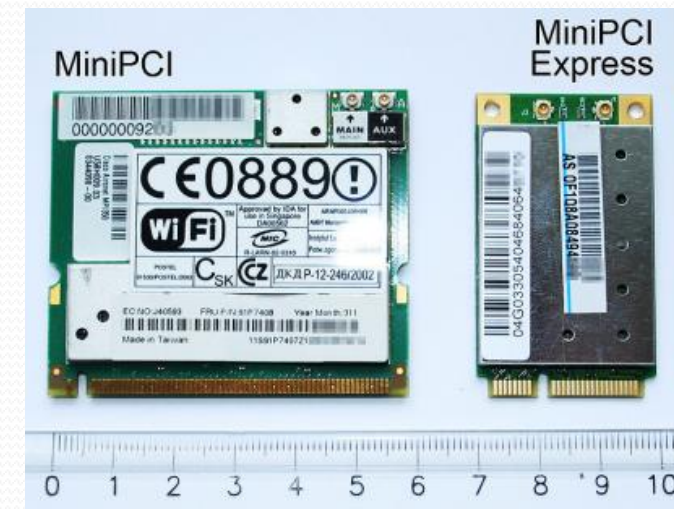
## Peripheral Component Interconnect

- PCI 1.0 Původní specifikace, 1992
- PCI 2.0 Definice konektorů a rozměrů, 1993
- PCI 2.1 Provoz na 66 MHz, 1995
- PCI 2.2 Správa napájení, vyžaduje 3,3 V signalizaci
- PCI 2.3 Dovoluje použít 3,3 V a univerzální klíčování, ale nedovoluje klíčování pro 5 V.
- PCI 3.0 Konečný oficiální standard pro PCI sběrnici
  - byla úplně odstraněna možnost 5 V.

# PCI

## Peripheral Component Interconnect

- PCI-X Provoz na 133 MHz,
- Mini-PCI Definice velmi malých karet, d. v 2.2
- PCI Express Sériový přenos dat, 2002
- ExpressCard Standart nahrazující PC Cards



- Klíčování - běžné PCI karty mají buď jeden nebo dva klíčovací zářezy podle napěťové signalizace.
  - Karty vyžadující 3,3 V mají zářez vedle přední strany karty
  - Karty vyžadující 5 voltů mají zářez na druhé straně.
  - Univerzální karty mají oba zářezy
    - mohou přijímat oba typy signálů.



# PCI

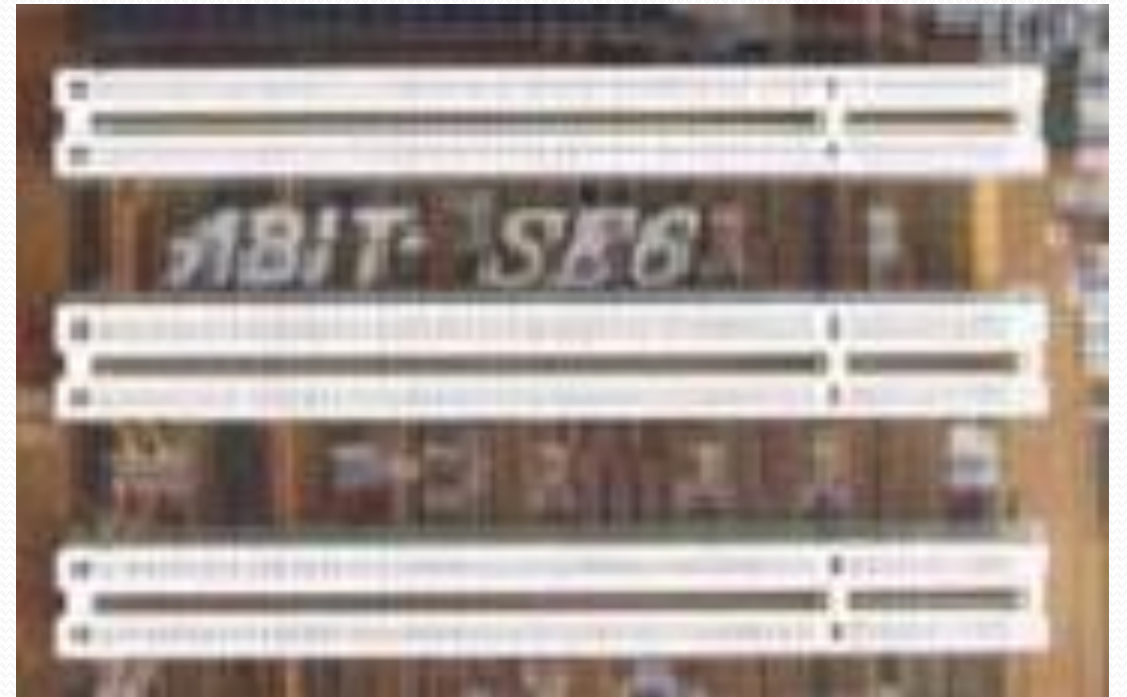
## Peripheral Component Interconnect

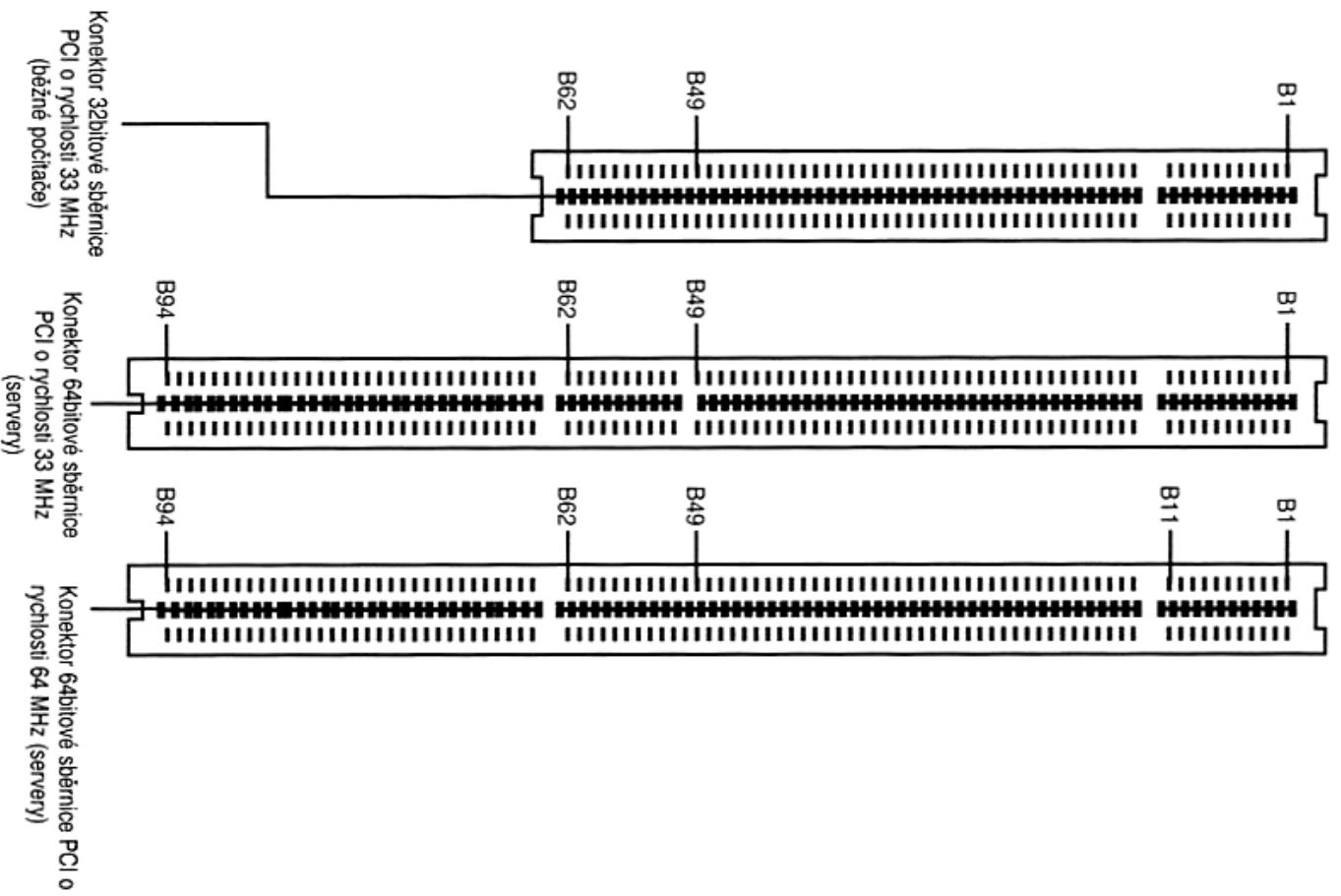
- K systémové sběrnici připojena přes mezisběrníkový můstek
  - možnost použití sběrnice PCI i v jiných počítačích než jsou PC
  - můstek dovoluje provádět přizpůsobování napěťových úrovní
- První sběrnice s šířkou přenosu 64 bitů
  - využívá tak plně 64bitové datové sběrnice Pentia
- Dovoluje však také přenos o šířce 32 bitů (od v. 2.0)
- Maximální frekvence sběrnice je 33 MHz (66 MHz)
- propustnost: 133 MB/s (pro 32 bitů) a 266 MB/s (pro 64 bitů)



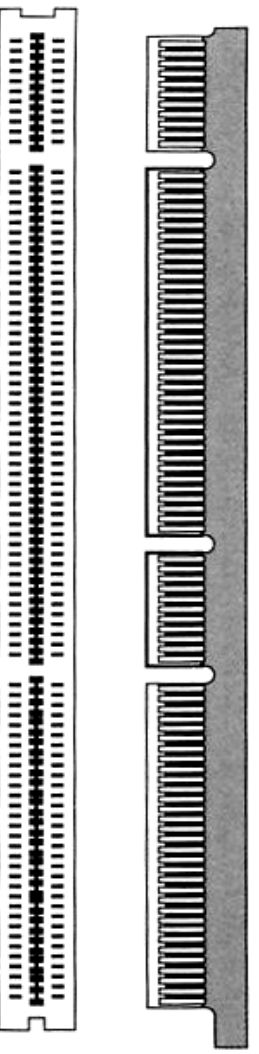
# PCI

- Napájení 3,3 V nebo 5 V
- Podporuje PCI **Busmastering**
- Podpora Plug and Play (**PnP**)
- Zařízení dvou typů
  - Bus master (řídící zařízení sběrnice)
  - Target (cílové zařízení sběrnice)





obr. 3.45 Porovnání slotů 32bitové sběrnice PCI, pracující na rychlosti 33 MHz, s konektory pro 64bitovou sběrnici PCI, určenou pro rychlosti 33 a 66 MHz



obr. 3.46 Konektor 64bitové univerzální PCI karty (nahore) a příslušný slot základní desky (dole)

# PCI

# PCI-X

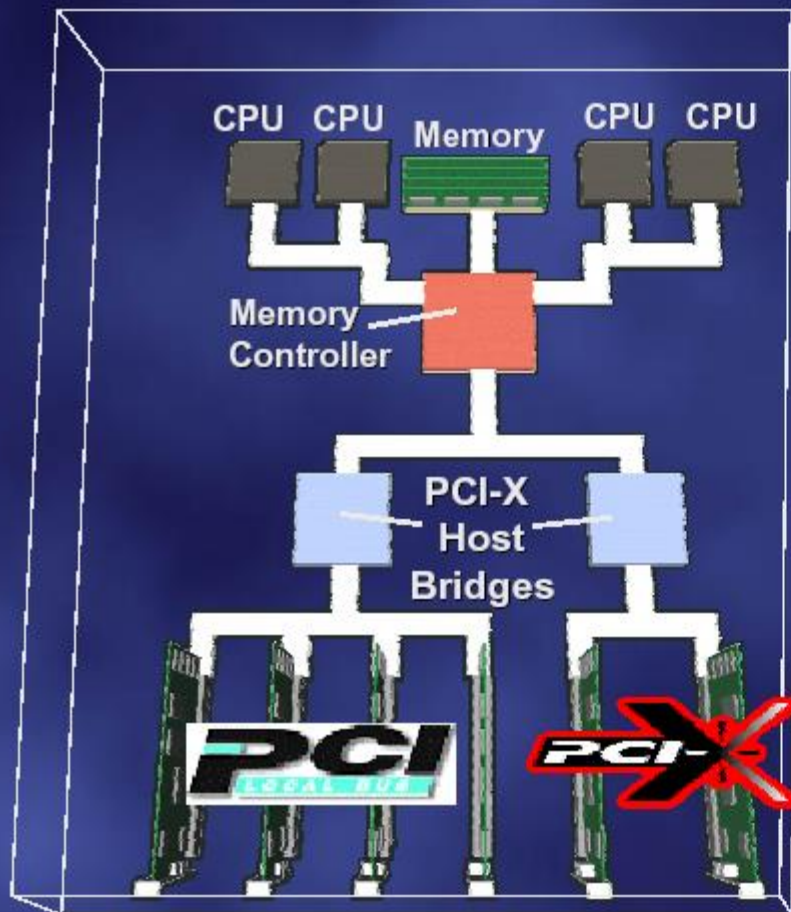


- **PCI-X System**
  - 32- nebo 64-bit
  - 3.3 Volt I/O
- PCI-X je vystavěna na stejné architektuře, protokolech, signálech a konektorech jako tradiční PCI.
- **Využitelné sloty pro dané rychlosti**
  - 1 slot @ 133 MHz
  - 2 slots @ 100 MHz
  - 4 slots @ 66 MHz
    - (shodné s 33/66 MHz módem v PCI 2.2)
  - Sběrnice typu PCI-X řídí pracovní frekvenci hodin podle počtu slotů nebo připojených zařízení.

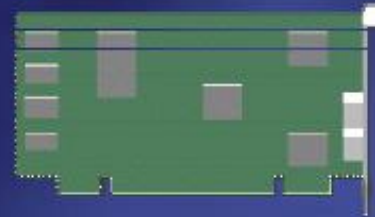
# PCI-X 2.0

- PCI-X 266 a PCI-X 533
  - Propustnost až 4.3 GB/s
- Zvýšena spolehlivost
  - Přidána podpora ECC
    - automatic single-bit error recovery and double-bit error detection
- Napětí 3,3/1,5 V
- **PCI-X 3.0**
  - Frekvence 1066 MHz
  - Propustnost 7.95 GB/s





- ◆ PCI-X slots will accept both PCI & PCI-X adapters



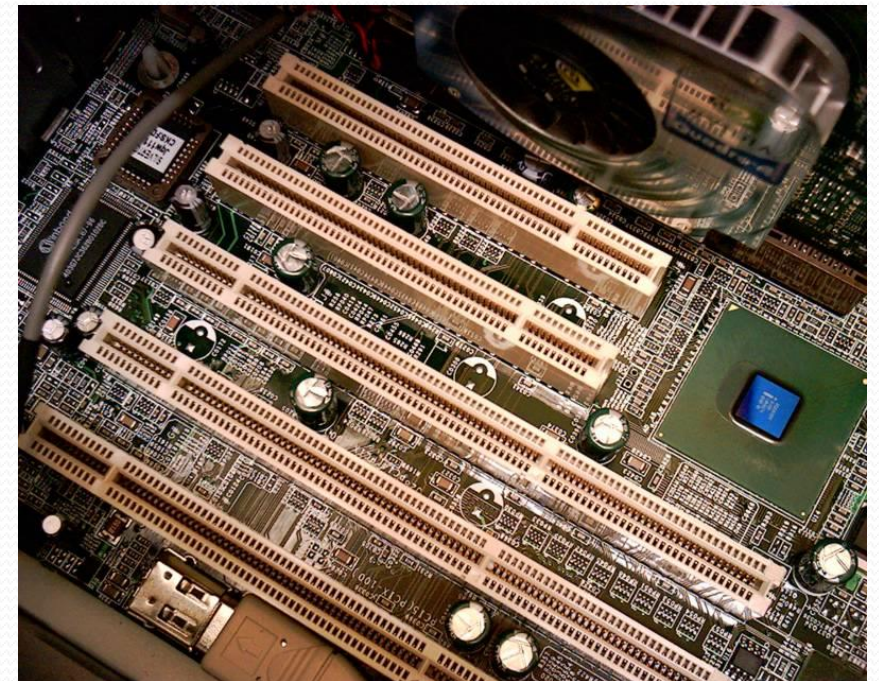
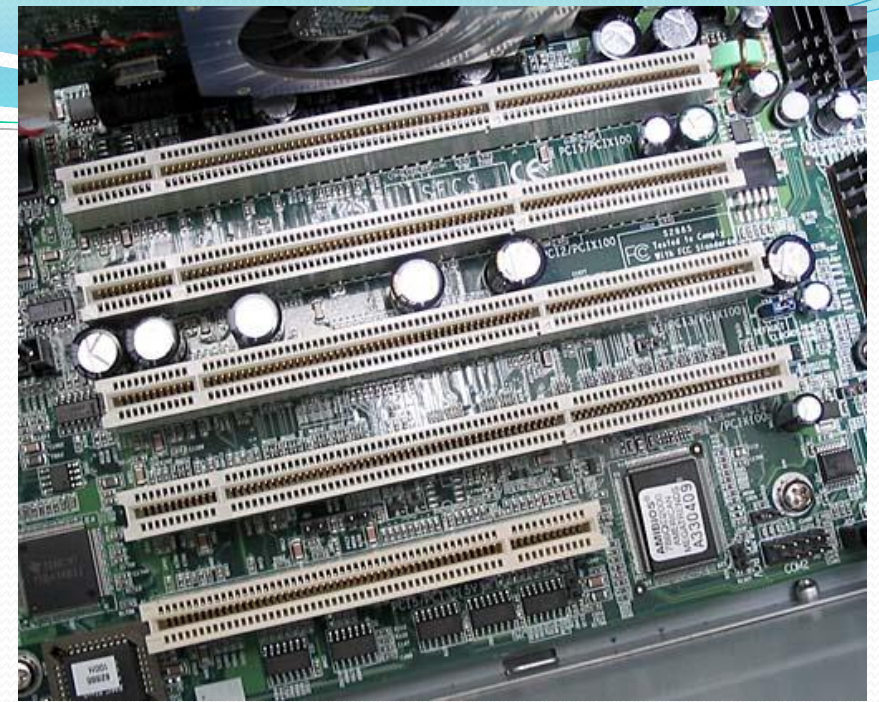
- ◆ Cost sensitive 32-bit Cards
- ◆ PCI-X cards will work in current PCI systems just like 66MHz conventional cards
- ◆ Conventional Speeds & Bandwidth
  - 33MHz 133MB/sec
  - 66MHz 256MB/sec (optional)
- ◆ PCI-X Speeds & Bandwidth
  - 66MHz 256MB/sec
  - 133Mhz 533MB/sec (optional)
- ◆ 3.3v or Universal



- ◆ High performance 64-bit cards
- ◆ PCI-X cards will work in current PCI systems just like 66MHz conventional cards
- ◆ Conventional Speeds & Bandwidth
  - 33MHz 256MB/sec
  - 66MHz 533MB/sec (optional)
- ◆ PCI-X Speeds & Bandwidth
  - 66MHz 500MB/sec
  - 133Mhz 1066MB/sec (optional)
- ◆ 3.3v or Universal



# PCI-X





# Přehled konfigurace jednotlivých typů PCI sběrnic

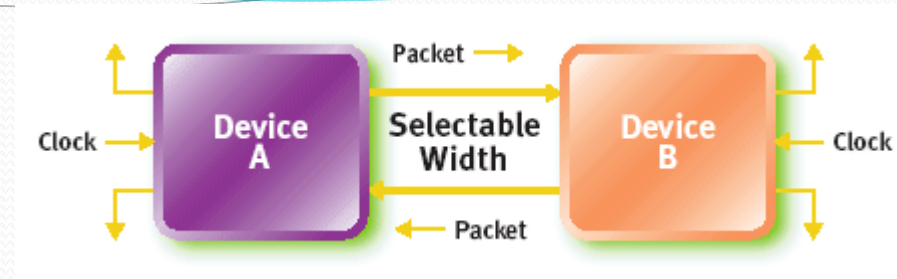
Typ sběrnice	PCI - 33		PCI - 66		PCI-X 66		PCI-X 133		PCI-X 266			PCI-X 533		
Počet datových bitů	32	64	32	64	32	64	32	64	16	32	64	16	32	64
Počet pinů <sup>1</sup>	49	81	49	81	50	82	50	82	36	50	82	36	50	82
Přenosová rychlost MB/s <sup>2</sup>	133	266	266	533	266	533	533	1066	533	1066	2133	1066	2133	4266
Napájecí napětí	5/3,3V		3,3V		3,3V		3,3V		1,5V a 3,3V			1,5V a 3,3V		

# PCI Express

- Sériové připojení typu point-to-point s použitím přepínačů
- Přenáší data po paketech.
  - Příkazy, data transakcí, zprávy a řídicí přenosy
  - Hodinový signál je kódovaný do datového toku
    - Samostatně vedené hodiny a data na vysokých frekvencích jsou náchylné k fázovému posunu.
- Diferenciální přenos
- Nízká režie, malé zpoždění
- Zachováno mnoho SW funkcí PCI sběrnice
  - Nové možnosti, např. QoS (Quality of Service)



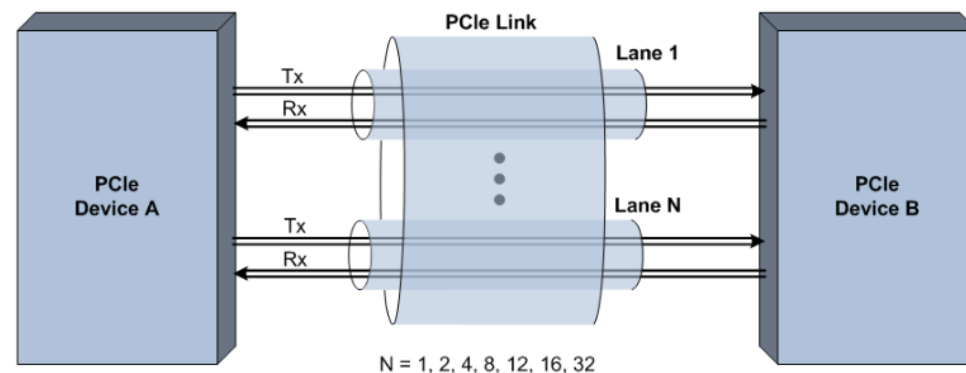
# PCI Express



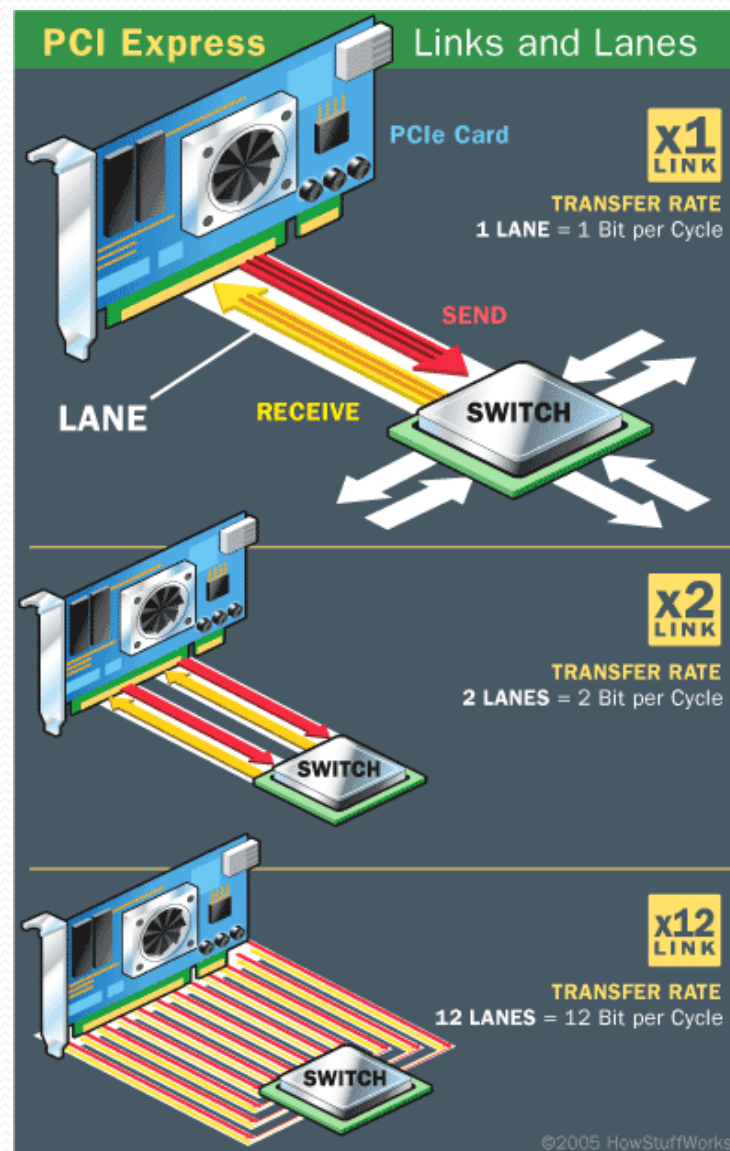
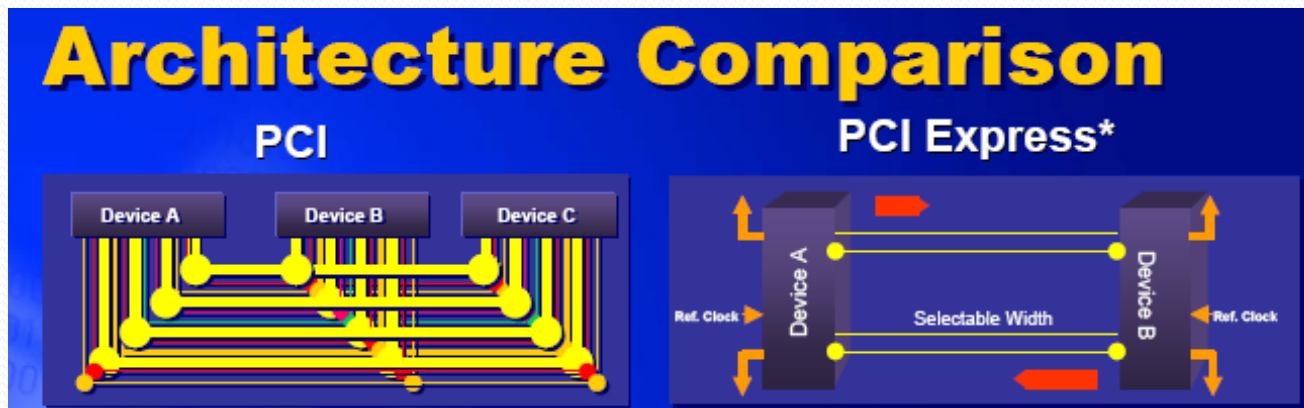
- data jsou enkodovaná 8b/10b (od verze 3 kódování 128/130b)
- základní přenosová rychlost každé *lane* (linie) je 2.5GT/s (verze 1)
  - Diferenciální přenos (2 vodiče)
  - dva páry, pro každý směr jeden
    - Sestavení *linku*
- zařízení PCIe x1 bude moci spotřebovat 10W energie,
- PCI x2 až x8 25W
- slot pro grafické karty PCIe x16 maximálně 75W

# PCI Express link

- **link** je point-to-point komunikační kanál mezi dvěma porty PCIe,
  - Umožňuje odesílat a přijímat zároveň (Full duplex).
- Na fyzické úrovni se link skládá z jedné nebo více linií (**lanes**).
- Linie se skládá ze dvou dvojic diferenčních signálů
  - jeden pár pro příjem dat a druhý pro vysílání
  - nízkonapěťová signalizace ( $\pm 250$  mV)
  - V jednom linku 1 – 32 linií
    - Škálování 1, 2, 4, 8, 12, 16 nebo 32
    - Počty linií značeny předponou  $\times$
    - Během HW inicializace *Linku* se vyjedná pracovní frekvence a počet *Lanes* sestavujících *Link*.

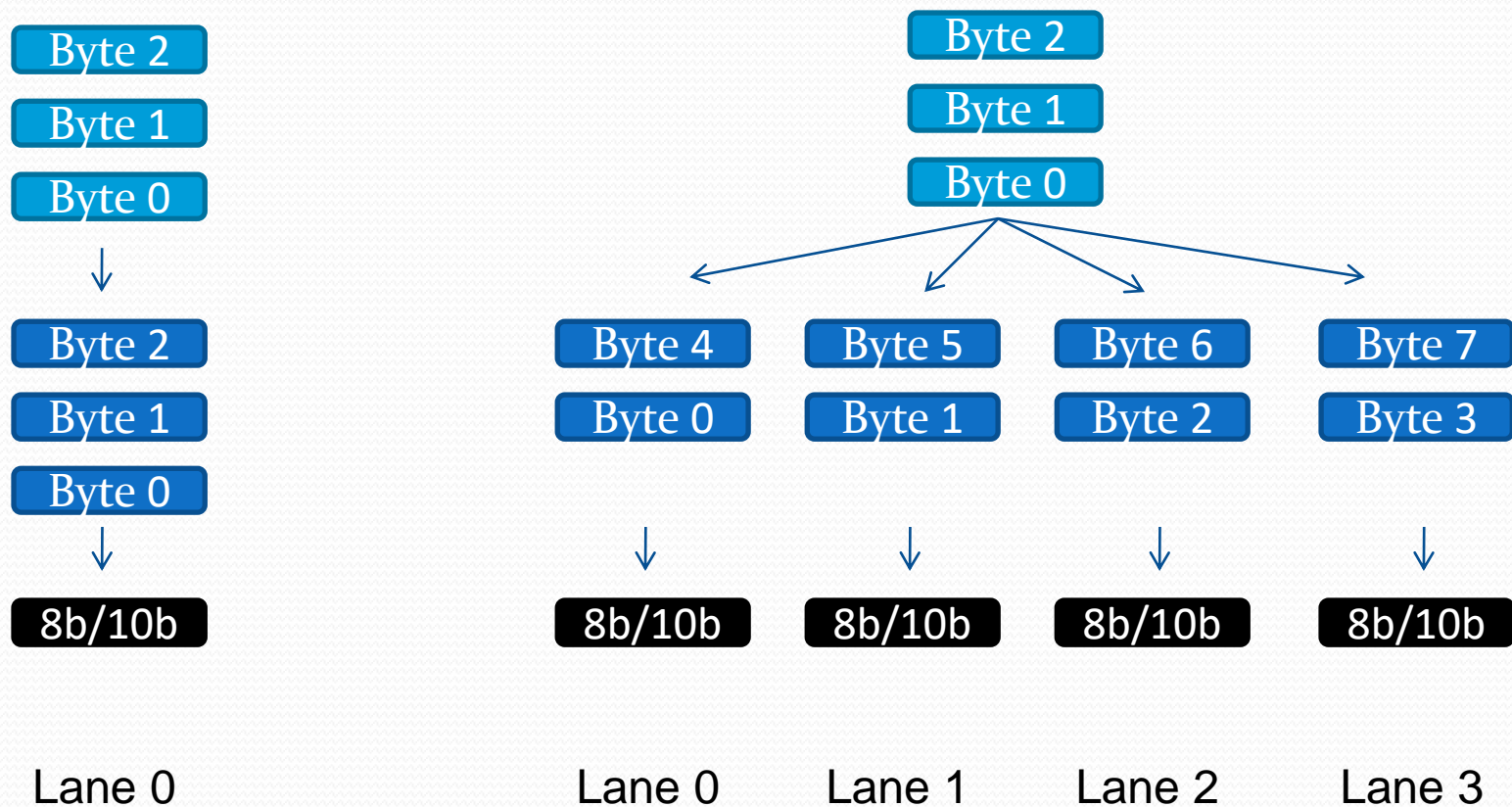


# PCI Express



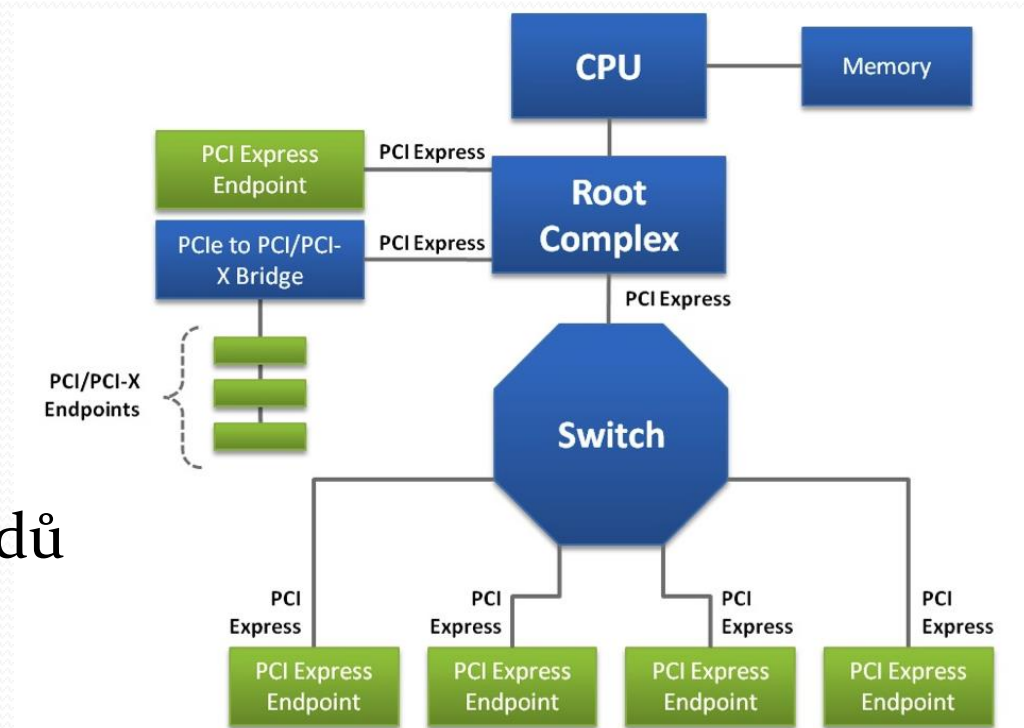
# PCI Express

Fyzická vrstva – dělení a kódování

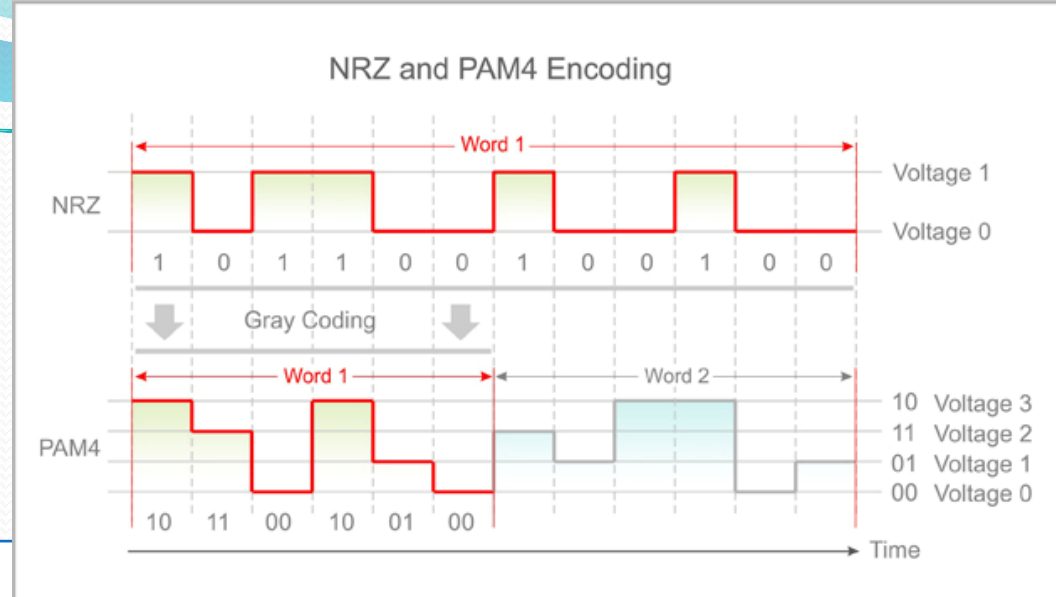


# PCIe topologie

- Kořenový komplex (root complex) je centrální řídicí bod ve stromové topologii.
  - Spravuje konektivitu pro porty PCIe, CPU, přidruženou paměť a další přemostovací funkce.
  - Přepínač (Switch) spojuje více koncových bodů s kořenovým komplexem.
  - Koncovými body jsou periferní I/O zařízení, která komunikují s CPU přes switch a/nebo root complex.



# Verze PCIe

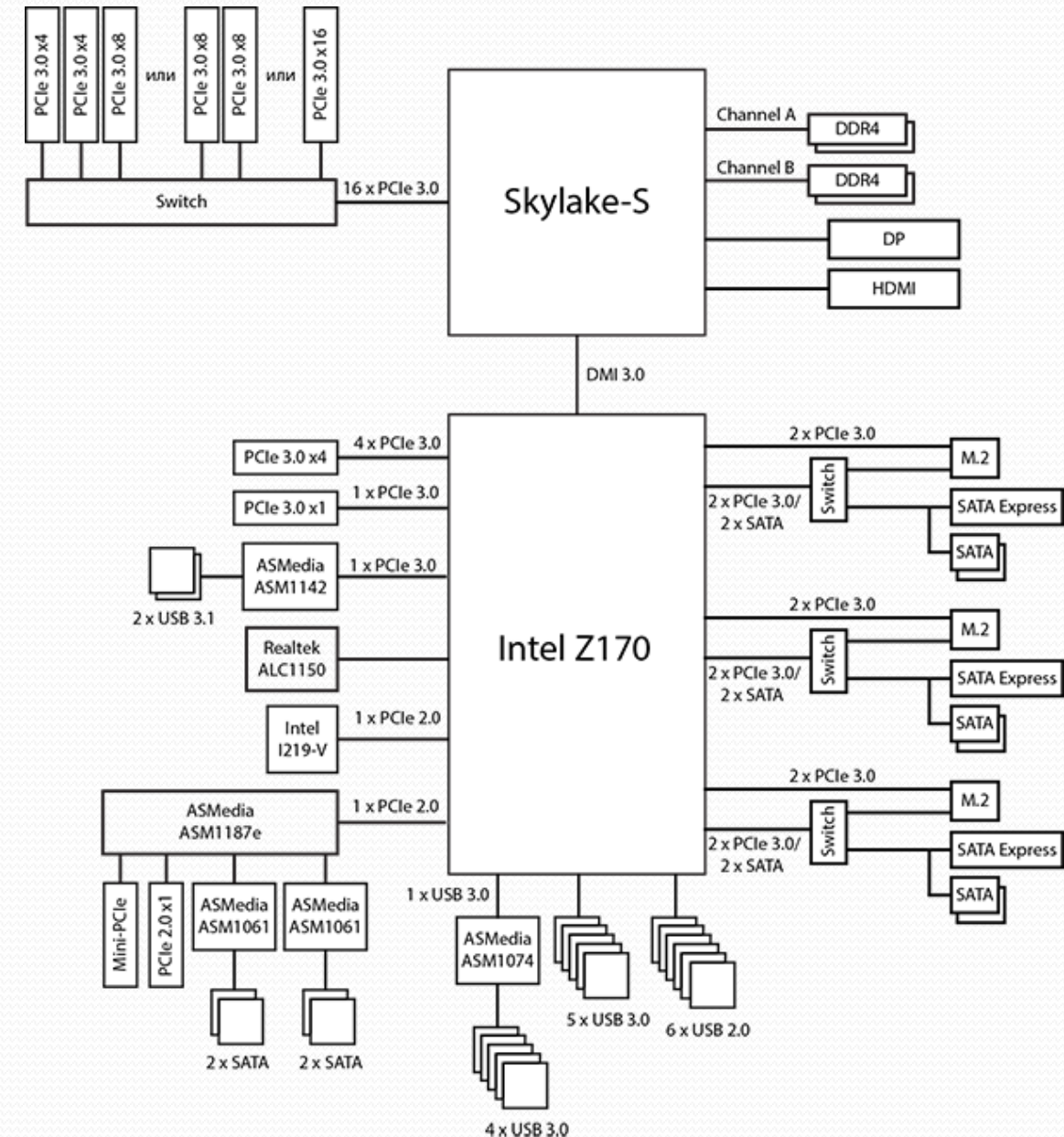
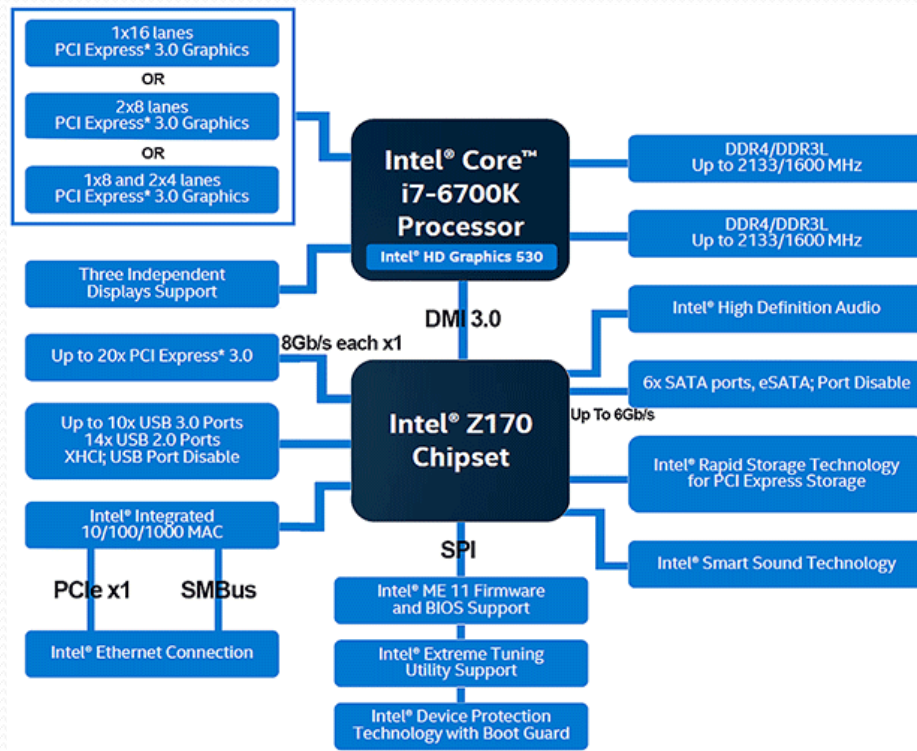


## Srovnání verzí PCI Express

Rozhraní	Propustnost	Kódování	Rychlost PCIe x1	Rychlost PCIe x16	Uvedení
PCIe 1.0	2,5 GT/s	8b/10b	250 MB/s	4 GB/s	2003
PCIe 2.0	5 GT/s	8b/10b	500 MB/s	8 GB/s	2007
PCIe 3.0	8 GT/s	128b/130b	985 MB/s	15,75 GB/s	2010
PCIe 4.0	16 GT/s	128b/130b	1,97 GB/s	31,5 GB/s	2017
PCIe 5.0	32 GT/s	128b/130b	3,94 GB/s	63 GB/s	2019
PCIe 6.0	64 GT/s	PAM4	7,88 GB/s	126 GB/s	2021

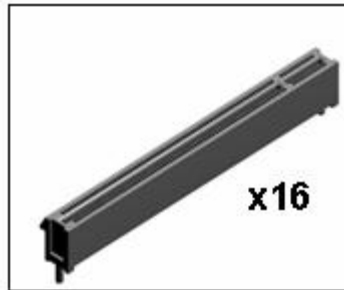


# Modern Schema

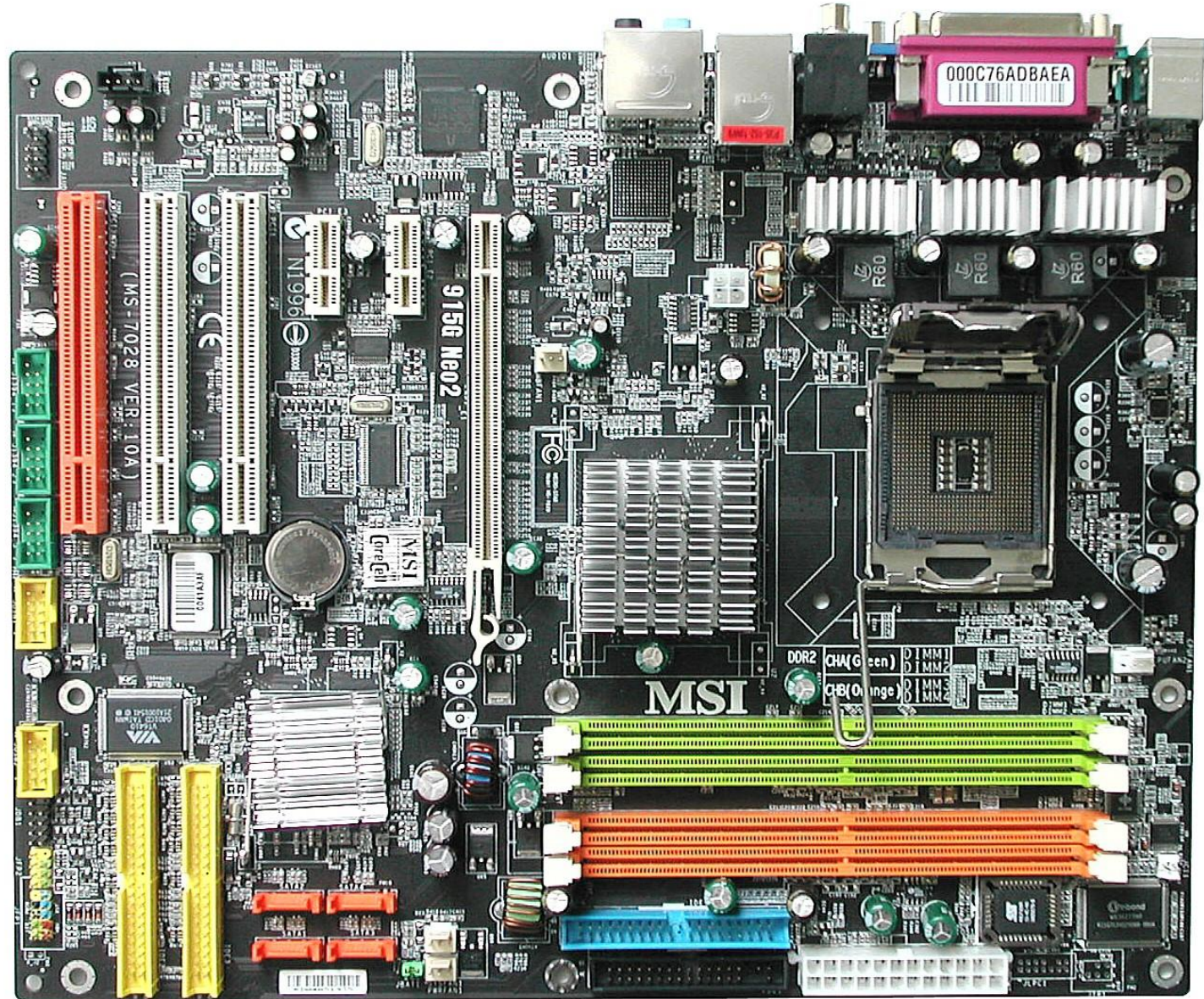




# PCI Express



25W-75W graphics cards are powered through the desktop board's PCI Express x16 connector:





## Relative Performance

3840x2160

TECHPOWERUP

Higher is Better

RTX 3070 8 GB: 42 %

RTX 3070 Ti 8 GB: 44 %

RX 6800 16 GB: 47 %

RTX 3080 10 GB: 53 %

RX 6800 XT 16 GB: 54 %

RX 6900 XT 16 GB: 57 %

RTX 3080 Ti 12 GB: 61 %

RTX 3090 24 GB: 61 %

RX 6950 XT 16 GB: 61 %

RTX 3090 Ti 24 GB: 69 %

RTX 4090 / PCIe x16 1.1: 81 %

RTX 4090 / PCIe x16 2.0: 92 %

RTX 4090 / PCIe x16 3.0 / x8 4.0: 98 %

RTX 4090 / PCIe x16 4.0: 100 %

## Relative Performance

1920x1080

TECHPOWERUP

Higher is Better

RTX 3070 8 GB: 65 %

RTX 3070 Ti 8 GB: 68 %

RX 6800 16 GB: 73 %

RTX 3080 10 GB: 77 %

RX 6800 XT 16 GB: 81 %

RTX 3080 Ti 12 GB: 82 %

RTX 4090 / PCIe x16 1.1: 82 %

RTX 3090 24 GB: 83 %

RX 6900 XT 16 GB: 84 %

RTX 3090 Ti 24 GB: 87 %

RX 6950 XT 16 GB: 88 %

RTX 4090 / PCIe x16 2.0: 94 %

RTX 4090 / PCIe x16 3.0 / x8 4.0: 97 %

RTX 4090 / PCIe x16 4.0: 100 %

# AGP

## Accelerated Graphics Port

- 1996 - Intel zveřejnil specifikaci AGP 1.0
- Určen pro CPU Pentium a vyšší
- Důraz na zvýšení výkonu v oblasti grafiky
- Umožnění přímého přístupu grafické karty do systémové paměti
- Uvolnění šířky přenosového pásma PCI
- Pracuje na 66,66 Mhz
- Šířka sběrnice je 32 bitů

Režim sběrnice AGP	Přenosová rychlost
1x	266 MB/s
2x	533 MB/s
4x	1066 MB/s
8x	2132 MB/s

Režimy sběrnice AGP a jejich přenosové rychlosti.

	AGP1.0	AGP2.0	AGP3.0
Signaling	3.3V signaling	1.5V Signaling	New 0.8V Signaling
Protocol	Pipelined transactions + Source synchronous clocking	AGP1.0 + Fast Writes	AGP2.0 + Some enhancements – some deletions (See Sec 1.5.1)
Speeds	2X, 1X	4X, 2X, 1X	8X, 4X
Connector	3.3V keyed	1.5V keyed, Universal	1.5V keyed

# Plug and Play (PnP) – automatická konfigurace zařízení

- BIOS při zapnutí vyzve všechna zařízení připojená ke sběrnici k identifikaci.
- zařízení odešlou své identifikátory a požadavky.
- Přidělí se systémové prostředky tak, aby nedošlo ke konfliktům:
  - přerušení
  - I/O porty
  - adresový prostor v paměti RAM (pro paměť na kartě)
- údaje o konfiguraci jsou uložena do paměti.
- Zařízení je inicializováno.
- Po spuštění vyhledá OS podle identifikátoru ovladače.
- ovladače použijí uloženou konfiguraci.

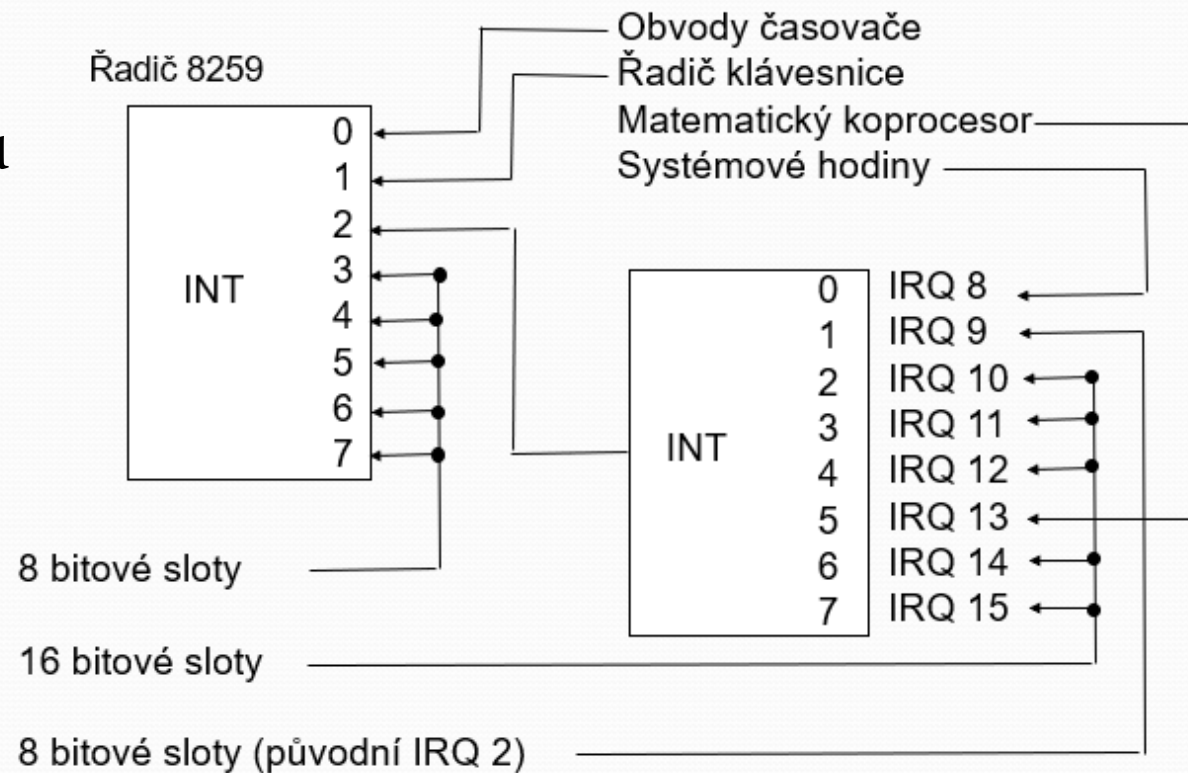
# Přerušení

## IRQ – Interrupt Request Channel

- Jsou využívány zařízeními, aby oznámily, že má být vyplněn určitý požadavek.
- Fyzicky jsou reprezentovány vodiči sběrnice
- Pokud je rozpoznáno přerušení, speciální proces převezme řízení systému, uloží obsah všech registrů a přesměruje systém do tabulky vektorů přerušení.
- V tabulce je obsažen seznam ukazatelů na adresy paměti, které odpovídají jednotlivým přerušením (obsluha přerušení).
  - Maskovatelné přerušení (jdou zakázat)

# Přerušení na ISA

- Každému přerušení odpovídá jeden vodič
- Nelze rozpoznat ve kterém konektoru je karta, která vyvolala přerušení
- Pro jedno přerušení jen jedno HW zařízení
- Není možné sdílení přerušení



# Přerušení na sběrnici PCI

- PCI podporuje 4 přerušení
  - INTA#, INTB#, INTC#, INTD#
- Sběrnice PCI je založena na sdílení přerušení
  - Level-sensitive
    - Citlivé na úroveň signálu => sdílení
- Přerušení sběrnice PCI je mapováno na IRQ sběrnice ISA (dříve) nebo jsou v PCI mostu asociovány s vnějšími přerušeními procesoru (jejich konkrétní přiřazení není obvykle uživatelsky nastavitelné)



# Přerušení na sběrnici PCI

- Pozdější revize PCI specifikací přidávají podporu pro přerušení signalizované zprávou.
  - zařízení oznamuje svůj požadavek na obsloužení zápisem do paměti, nedává tedy o sobě vědět prostřednictvím vyhrazené linky.
  - řešení problému s nedostatkem přerušovacích linek.
  - nedochází zde k problému se sdílením úrovně spouštěných přerušení.
  - řeší to některé synchronizační problémy
- PCI Express již fyzické linky pro přerušení nemá, používá výhradně posílání zpráv. **Message Signalled Interrupts (MSI)**

# APIC

- Advanced Programmable Interrupt Controller
- volně přeloženo pokročilý programovatelný řadič přerušení.
- Povolení této funkce v BIOSu znamená možnost expandovat s přerušovacími linkami (IRQ – Interrupt Request) na vyšší počet obsluhovaných funkcí než bylo dříve možné
- Obsaženo v CPU od Pentia (rok 1994)



# Adresy vstupu a výstupu (I/O porty)

- Vzájemná komunikace mezi HW a SW
- U PC celkem 65535 adres
  - 0000h – FFFFh
- Dvě zařízení nesmí mít stejnou adresu
  - POZOR!!! Neplést s adresy v paměti, zde se jedná o **port**



# DMA na sběrnici ISA

- Využívané rychlými zařízeními k přenosu dat do a z paměti bez procesoru
- Mohou být sdíleny za podmínky, že se je zařízení nebudou snažit využít současně
- Dva kaskádovitě zapojené řadiče po 4 kanálech

