

Metody připojování periferií

BI-MPP

Přednáška 3

Ing. Miroslav Skrbek, Ph.D.

Katedra číslicového návrhu

Fakulta informačních technologií

České vysoké učení technické v Praze

Miroslav Skrbek ©2010-2021

ZS2021/22



Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

Agenda

- PCI
- PCI Express
- Přerušení

Literatura

- Gook, M.: Hardwarová rozhraní – Průvodce programátora. Computer Press, Brno 2006. ISBN 80-251-1019-2
- PCI Express™ Base Specification Revision 1.0a. PCI Sig. April 15, 2003

PCI Local Bus

- synchronní systémová sběrnice
- procesorově nezávislá
- hodinový kmitočet 33MHz nebo 66MHz
- šířka dat 32bitů nebo 64bitů, zabezpečeno paritou
- sběrnice typu multi-master
- nízká cena

PCI Local Bus na PC

- Systémová sběrnice: PCI 32 bitů, 33MHz

určeno širokou škálou V/V karet,
postupně nahradí sběrnici ISA

- AGP (Accelerated Graphics Port):
modifikovaná PCI 32 bitů, 66MHz

určeno pro grafické karty

Signály PCI sběrnice

Adresy a data

AD[0::31]	multiplexovaná datová a adresová sběrnice
C/BE[0::3]#	příkaz/platnost bytu
PAR	parita přes AD a C/BE# signály

Řídící signály

FRAME#	rámec transakce
IRDY#	iniciátor připraven
TRDY#	cíl připraven
STOP#	požadavek cíle na zastavení transakce
LOCK#	indikuje atomické sběrnicové operace
IDSEL	výběr karty při konfiguračních cyklech
DEVSEL#	indikuje, že cíl dekodoval adresu

Signály PCI sběrnice

Systémové signály

CLK hodiny sběrnice (33MHz nebo 66MHz)

RST# reset sběrnice

Arbitrace

REQ# žádost o přidělení sběrnice

GNT# indikuje, že sběrnice byla přidělena

Chybové signály

PERR# chyba parity

SERR# chyba v systému

Přerušeni

INTA#, INTB#, INTC# INTD# urovňová přerušeni

Signály PCI sběrnice

Signály pro podporu keší

SBO# indikuje adresa paměťové operace odpovídá modifikované položce v některé keši.
Tento signál dovolí keši aktualizovat data v paměti.

SDONE# indikuje, že všechny karty dokočily snooping

Přídavné signály

PRSNT[1:2] indikuje vložení PCI karty do konektory
TCK, TDI, TDO, TMS, TRST# - JTAG/Boundary Scan

Signály PCI sběrnice

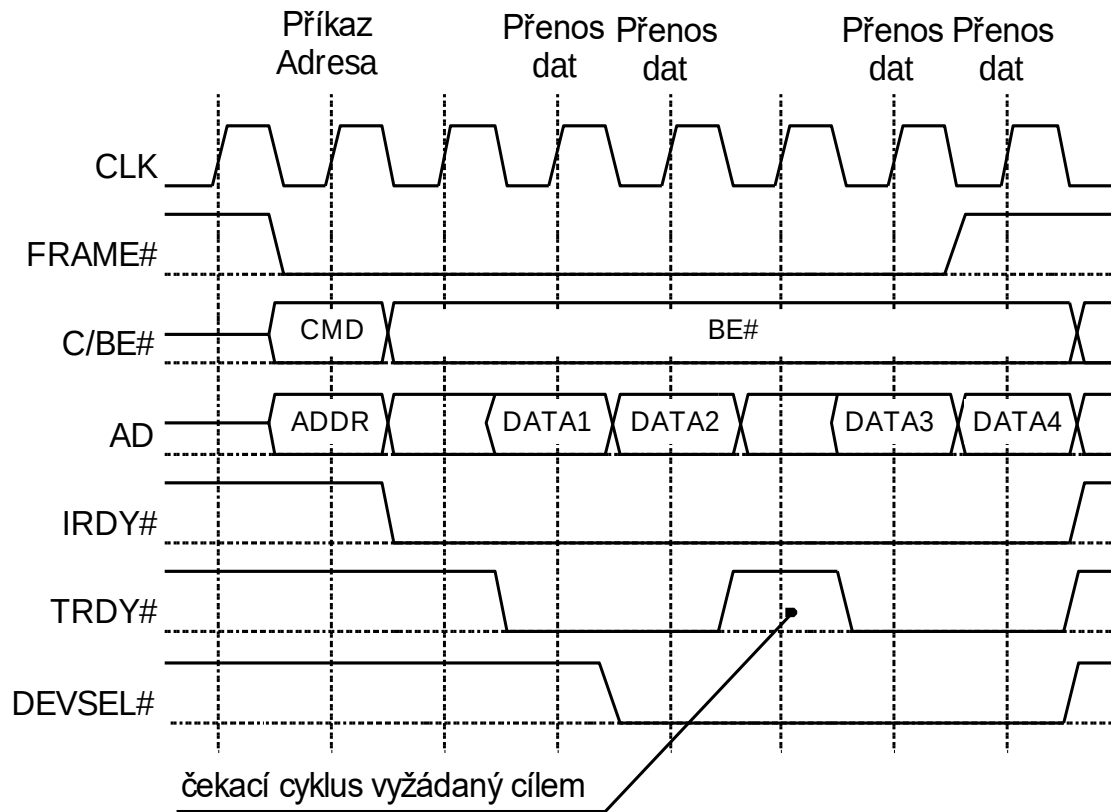
Rozšíření PCI na 64 bitů

AD[63::32]	rozšíření adresové a datové sběrnice
CBE[7::4]#	rozšíření příkazu a signálů a platnosti dat
REQ64#	požadavek na 64 bitový přenos dat
ACK64#	potvrzení 64 bitového přenosu dat
PAR64	parita pro bity [63::32]

Příkazy (C/BE[3:0]#)

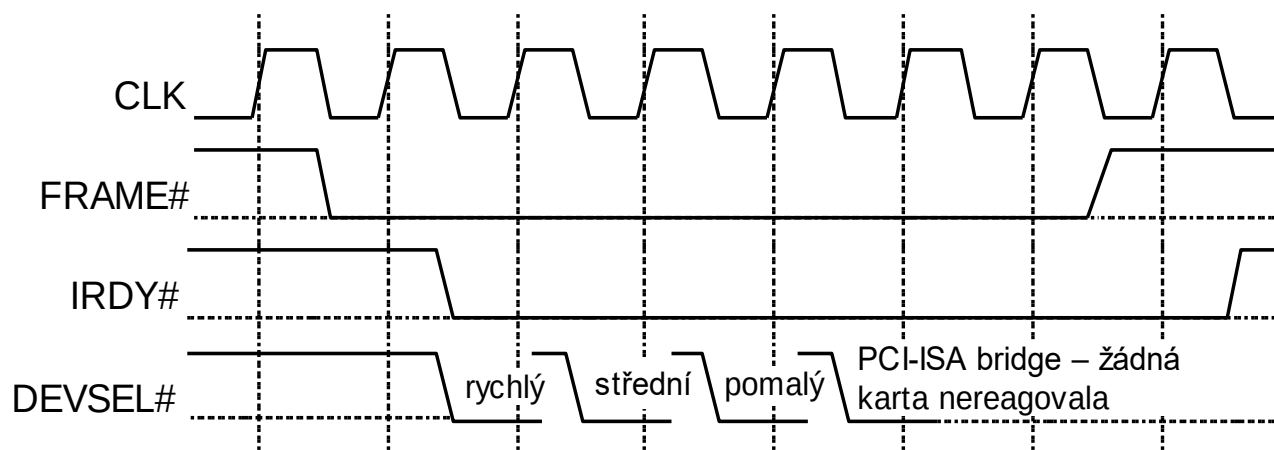
0000	potvrzení přerušení (Interrupt Acknowledge)
0001	speciální cyklus (Special Cycle)
0010	čtení z V/V prostoru (IO Read)
0011	zápis do V/V prostoru (IO Write)
0110	čtení z paměti (Memory Read)
0111	zápis do paměti (Memory Write)
1010	čtení z konfiguračního prostoru (Configuration Read)
1011	zápis do konfiguračního prostoru (Configuration Write)
1100	vícenásobné čtení z paměti (Memory Read Multiple)
1101	přenos 64 bitové adresy (Dual Address Cycle)
1110	čtení z paměti s ohledem na keše
1111	zápis do paměti s ohledem na keše (Memory Write and Invalidate)

Časování PCI sběrnice



Klasifikace adresových dekodérů

Adresové dekodéry se rozlišují podle zpoždění signálu DEVSEL#
na rychlý, střední a pomalý



Speciální cykly

- používají se pro přenos speciálních informací mezi zařízeními jedné sběrnice
- adresa pozbývá svůj význam (broadcast)
- datové přenosy reprezentují přenosy jednotlivých zpráv
- 32-bitová data jsou rozdělena na kód zprávy $AD[0::15]$ a datovou část zprávy $AD[15::31]$

Konfigurační cykly

- umožňují přístup ke konfiguračním registrům karet
- adresace PCI zařízení je v konfiguračních cyklech vázána na sloty (konektory)
- PCI zařízení může obsahovat více než jednu sadu konfiguračních registrů (multifunkční zařízení).

Adresová část konfiguračního cyklu

Typ 0				11 10	8 7	2 1 0
nepoužito				funkce	registr	00

Typ 1				24 23	16 15	11 10	8 7	2 1 0
nepoužito	sběrnice	zařízení	funkce	registr	01			

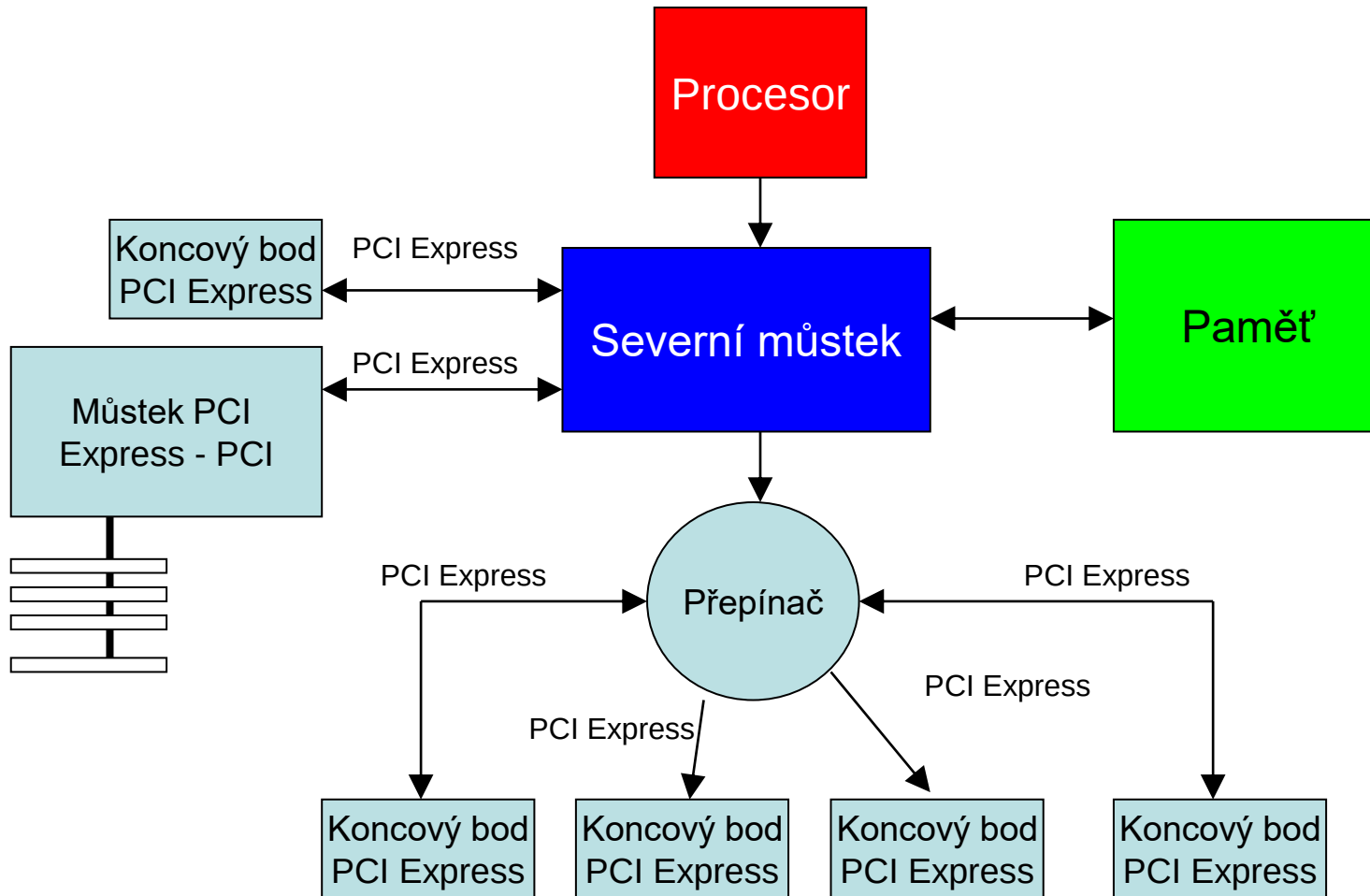
Typ 0 se používá k adresaci zařízení v rámci jedné sběrnice
Typ 1 se používá pro adresaci zařízení za PCI-PCI můstkem

Adresa pro konfigurační adresní prostor se zapisuje do registru na adrese CF8h ve V/V prostoru, těsně před vygenerováním konfiguračního cyklu zápisem/čtením z adresy CFCh. Detaily viz. cvičení.

PCI Express

- Sériová verze PCI, nahrazuje PCI
- Není sběrnici v pravém slova smyslu, jde o dvoubodový spoj
- Přenosové rychlosti (PCI Express 2.0)
 - 1× - 500 MB/s (obousměrně 1 GB/s)
 - 4× - 2 GB/s (obousměrně 4 GB/s)
 - 8× - 4 GB/s (obousměrně 8 GB/s)
 - 16× - 8 GB/s (obousměrně 16 GB/s)

Architektura PC s PCI Express



Transakce na sběrnici PCI Express

- Paměťové
 - Čtení/zápis do paměti
(fyzického paměťového prostoru)
- Vstupně/výstupní
 - Čtení/zápis v 64KiB V/V prostoru
- Konfigurační
 - Čtení/zápis v konfiguračním prostoru
- Výměna zpráv

Transakce v paměťovém prostoru

- Operace čtení zápis
 - ReadRequest/Completion – žádost o čtení a dokončení
 - WriteRequest – zápis
- Transakce mají dva formáty
 - Adresa 32 bitů
 - Adresa 64 bitů

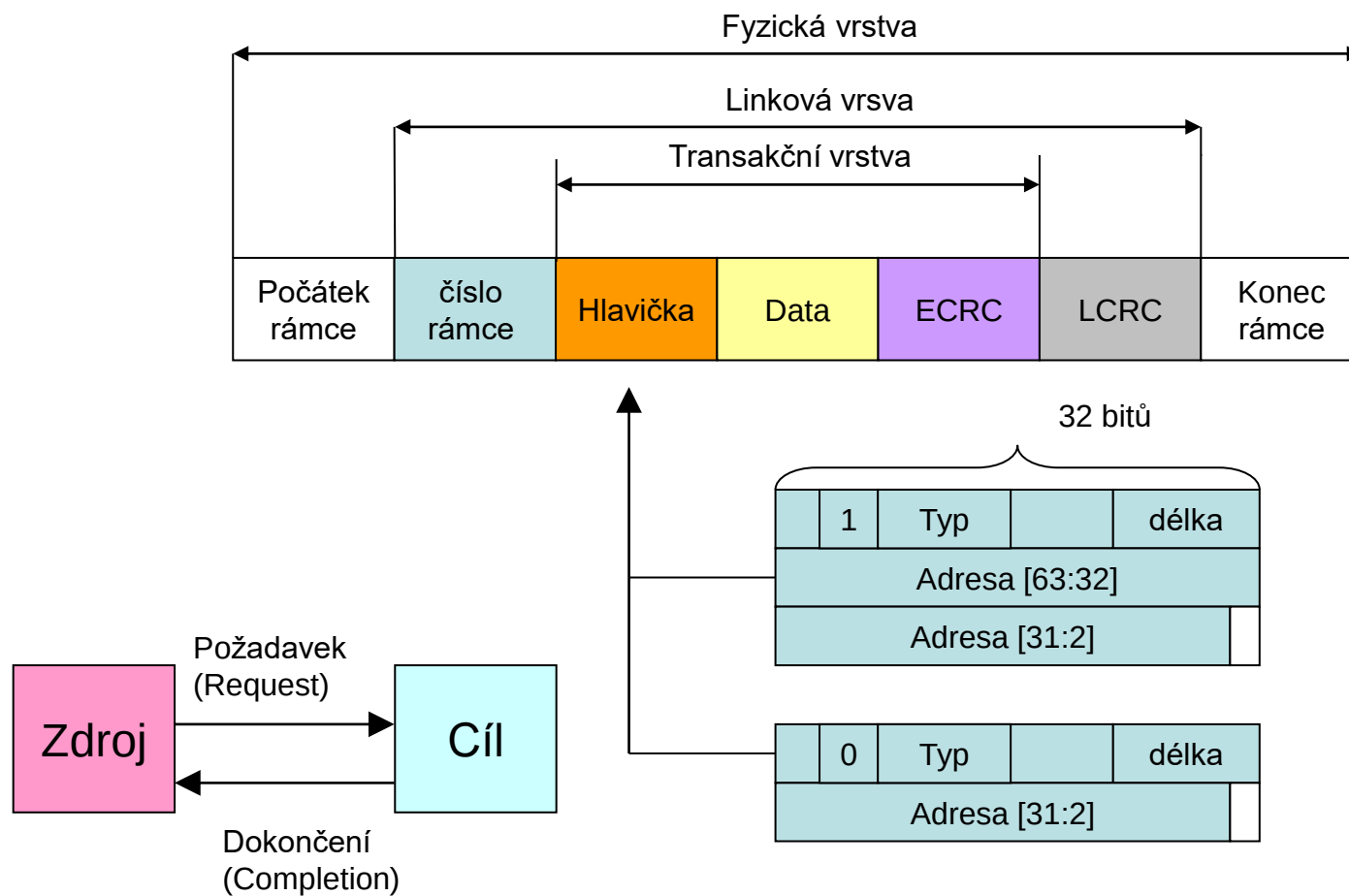
Transakce v V/V prostoru

- Operace čtení/zápis
 - ReadRequest/Completion – žádost o čtení/dokončení
 - WriteRequest/Completion – žádost o zápis/dokončení
- Tento typ transakce používá krátký 32bitový adresační formát

Transakce v konfiguračním prostoru

- Operace čtení/zápis
 - ReadRequest/Completion – žádost o čtení/dokončení
 - WriteRequest/Completion – žádost o zápis/dokončení

Formát paketu



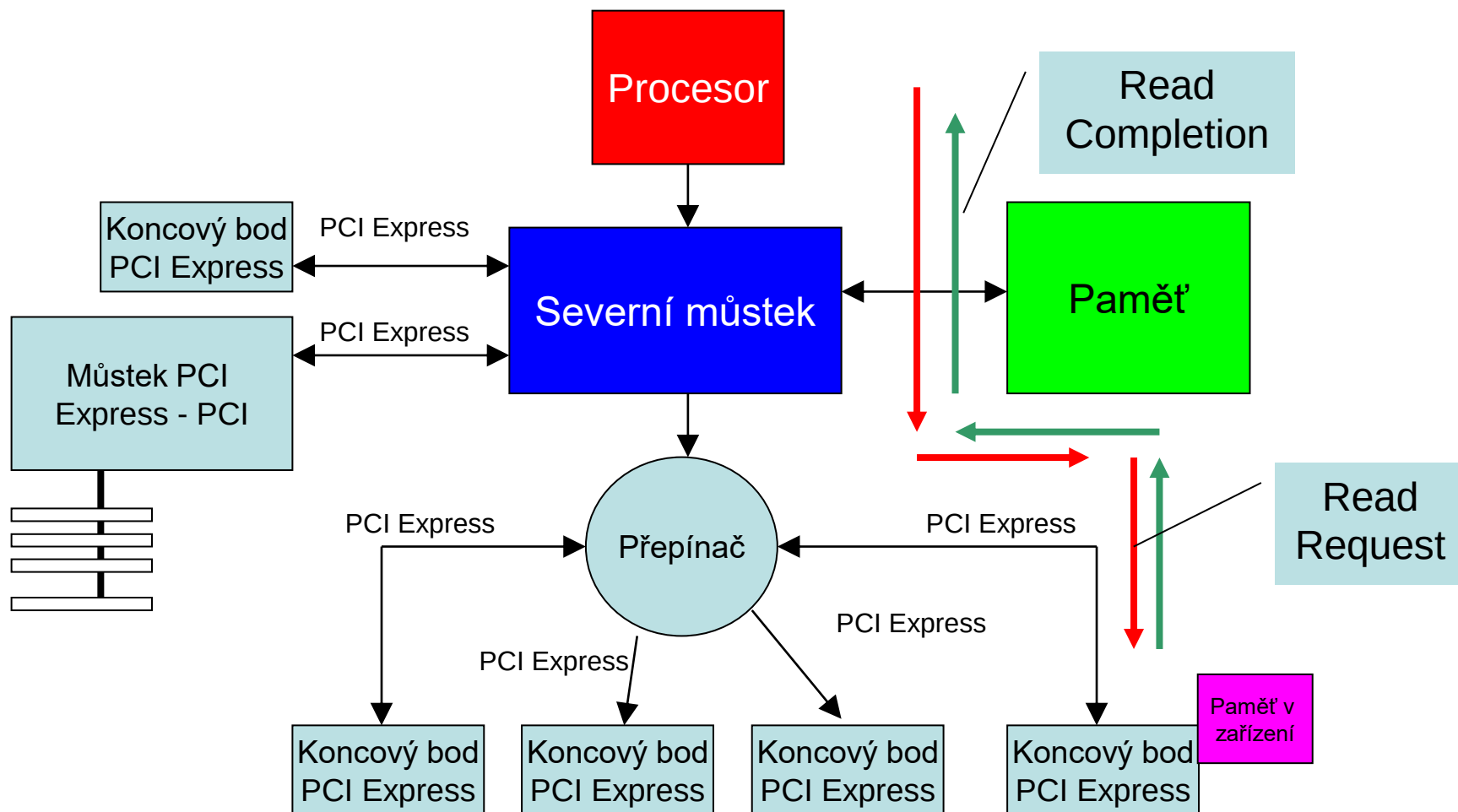
Typy paketů

	Format	Typ	Popis
MRd	00/01	00000	Memory Read Request
MWr	10/11	00000	Memory Write Request
IORd	00	00010	IO Read Request
IOWr	10	00010	IO Write Request
CfgRd0	00	00100	Configuration Read, typ 0
CfgWr0	10	00100	Configuration Write, typ 0
Cpl	00	01010	Completion (bez dat)
CplD	10	01010	Completion (s daty)

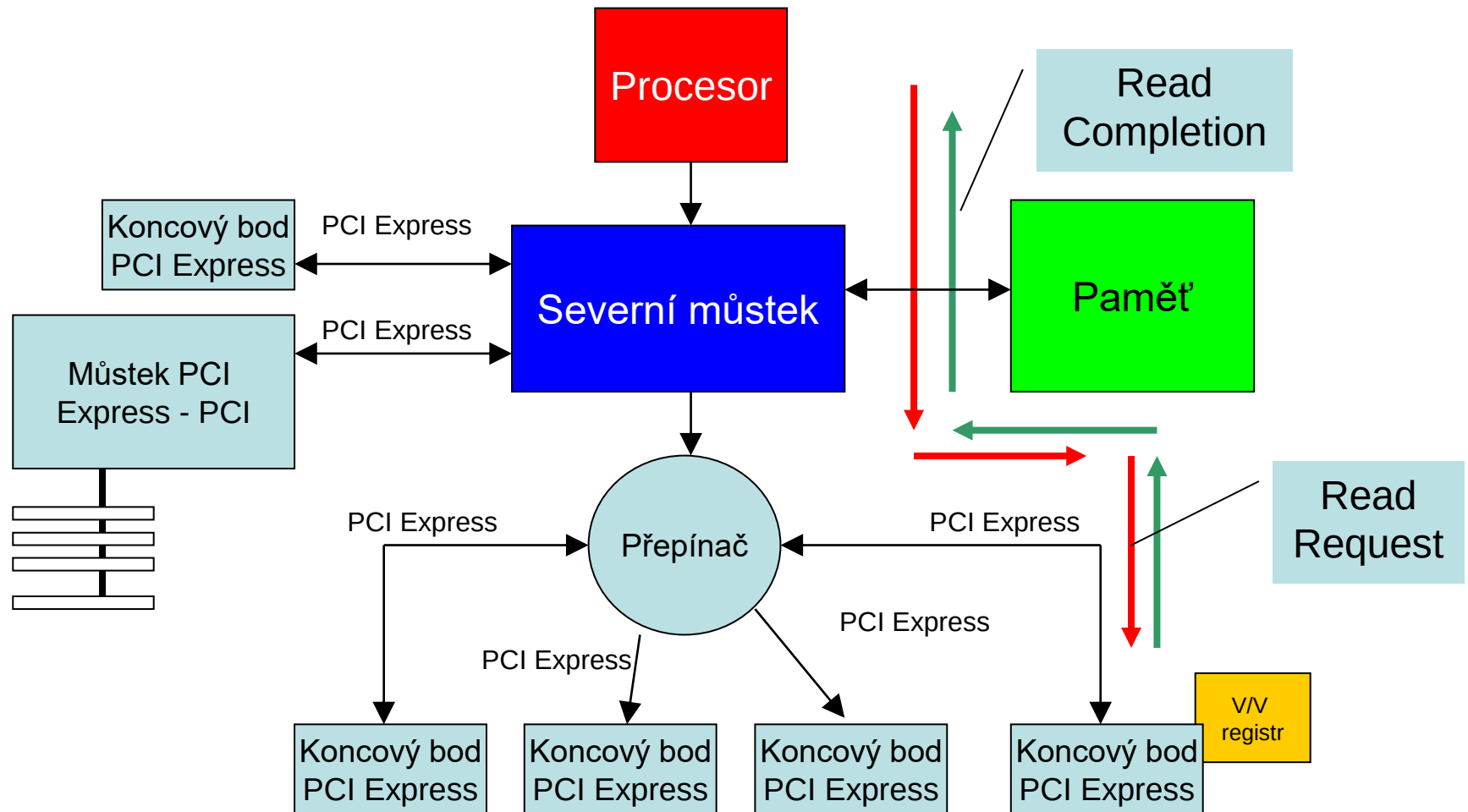
Pozn.: tabulka neobsahuje úplný výčet typů paketů, obsahuje pouze základní typy. Úplnou tabulku naleznete ve specifikaci sběrnice.

Typy paketů odpovídají typům transakcí na sběrnici. Navíc je zde sada dokončovacích paketů, které nesou data nebo stavovou informaci.

Čtení/zápis do paměti

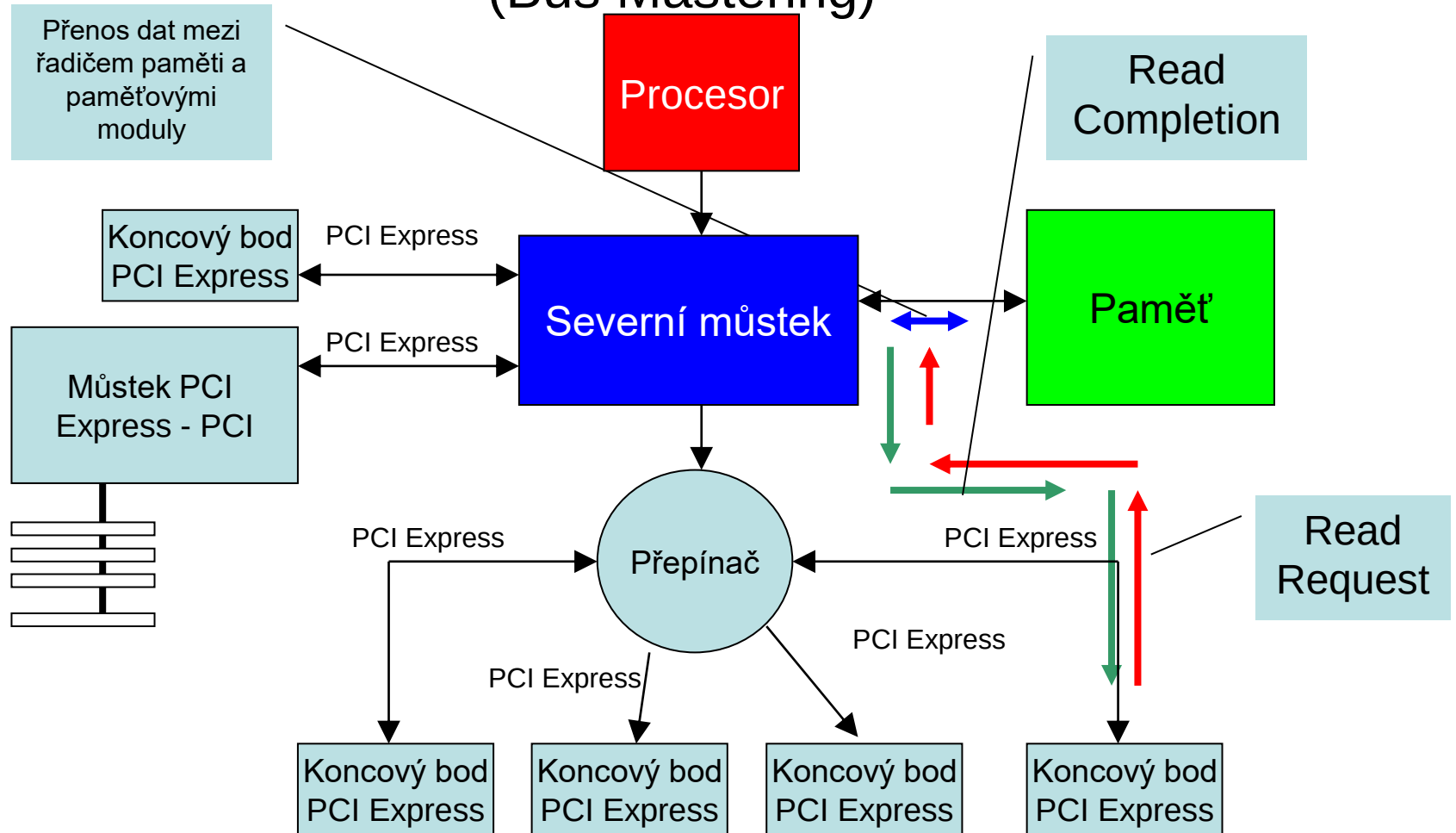


Čtení z V/V registru



Přímý přístup do paměti

(Bus Mastering)



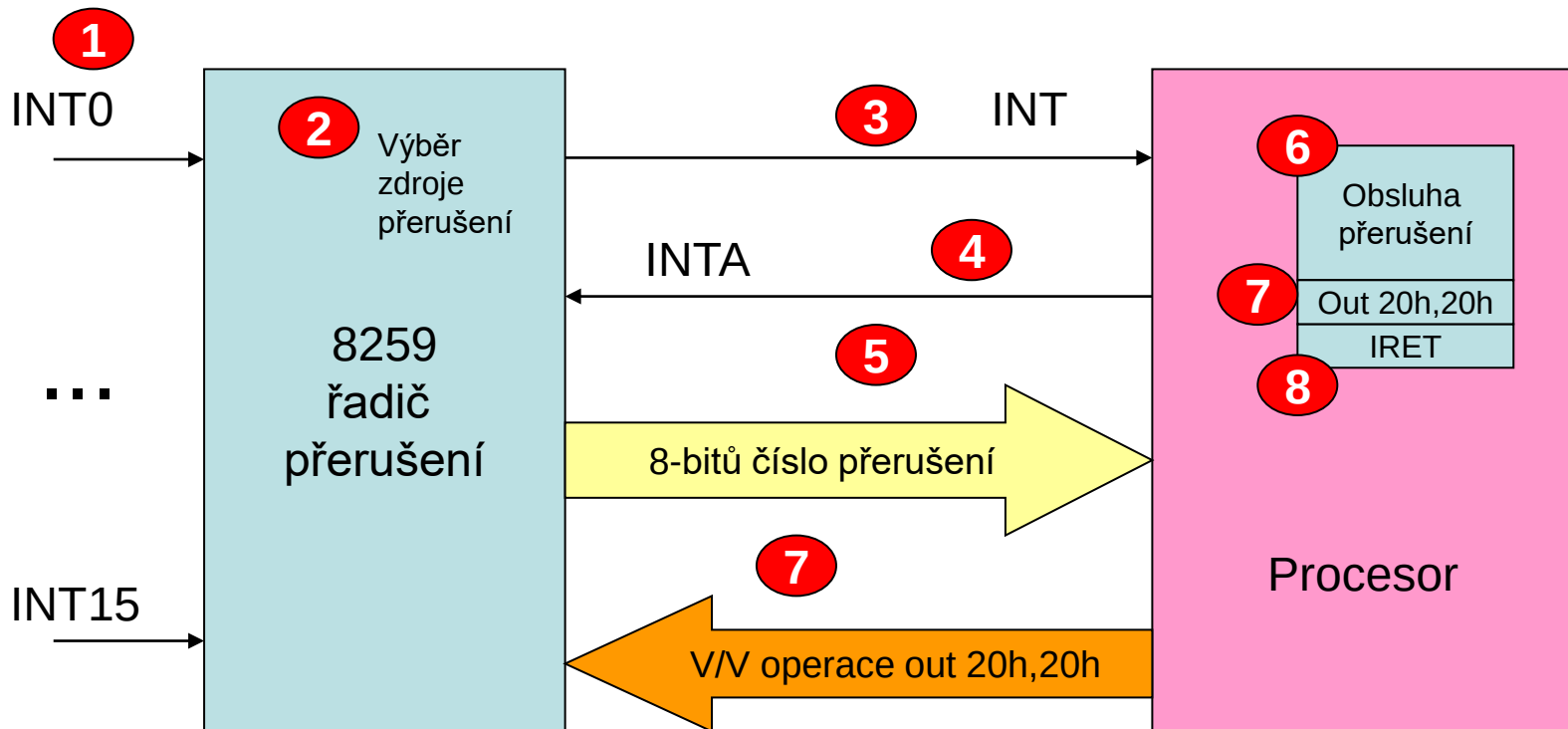
Přerušení

- Mechanismus přerušení zajišťuje vyvolání podprogramu (tzv. obsluhy přerušení) na základě vnějšího signálu nebo vnitřní chyby.
- V počítačích PC lze rozlišit až 256 zdrojů přerušení, prakticky se používá pouze 15. Ostatní lze vyvolat instrukcí **int** n (např. int 21) a používá se jako vstupní body do jádra operačního systému.
- Rozlišení zdrojů a vyhodnocení priorit přerušení zajišťuje řadič přerušení
- IRET, IRETD – instrukce pro návrat z přerušení, kromě návratu obnovuje příznakový registr. V protected modu může způsobit i přepnutí na jiný task.

Řadič přerušení 8259

- Má 15 vstupů přerušení (interrupt 0 – 15)
- Rozlišuje priority přerušení
- Má výstup INT, který signalizuje procesoru žádost o přerušení
- Má konfigurační registry, které jsou mapovány do v/v adresního prostoru
- Ve speciálním sběrnicovém cyklu si procesor žádá od řadiče číslo přerušení, pro které má vyvolat obslužný podprogram
- Pro zpracování další žádosti o přerušení (pokud v daný okamžik existuje) je nutná intervence ze strany obslužného podprogramu, a to zápisem do konfiguračního registru řadiče typicky outb(20h, 20h) se řadiči signalizuje ukončení přerušení.

Interakce procesor $\Leftrightarrow$ řadič přerušení



Vektory přerušení a IDT

- V reálném módu procesoru (dnes se používá jen pro start počítače) jsou adresy vstupních bodů přerušení uloženy v tabulce přerušení v 1. KiB operační paměti (256 položek x 4B).
- V protected módu (dnes běžně užívaný) jsou vstupní body obsluh přerušení uloženy jako dekriptory v tabulce IDT (interrupt descriptor table)
- Výběr položky v tabulce vektorů přerušení (případně IDT) provádí procesor na základě čísla přerušení, které dostane ve speciálním cyklu od řadiče přerušení

Přerušeni dle maskovatelnosti

- Maskovatelné přerušeni
 - Přerušeni, které lze zakázat globální maskou přerušeni (bit IF ve Flags registru). Ovládá se instrukcemi sti (povolení), cli (zákázání přerušeni)
- Nemaskovatelné přerušeni (NMI)
 - Používá se pro ošetření kritických událostí, například chyby v hardwaru

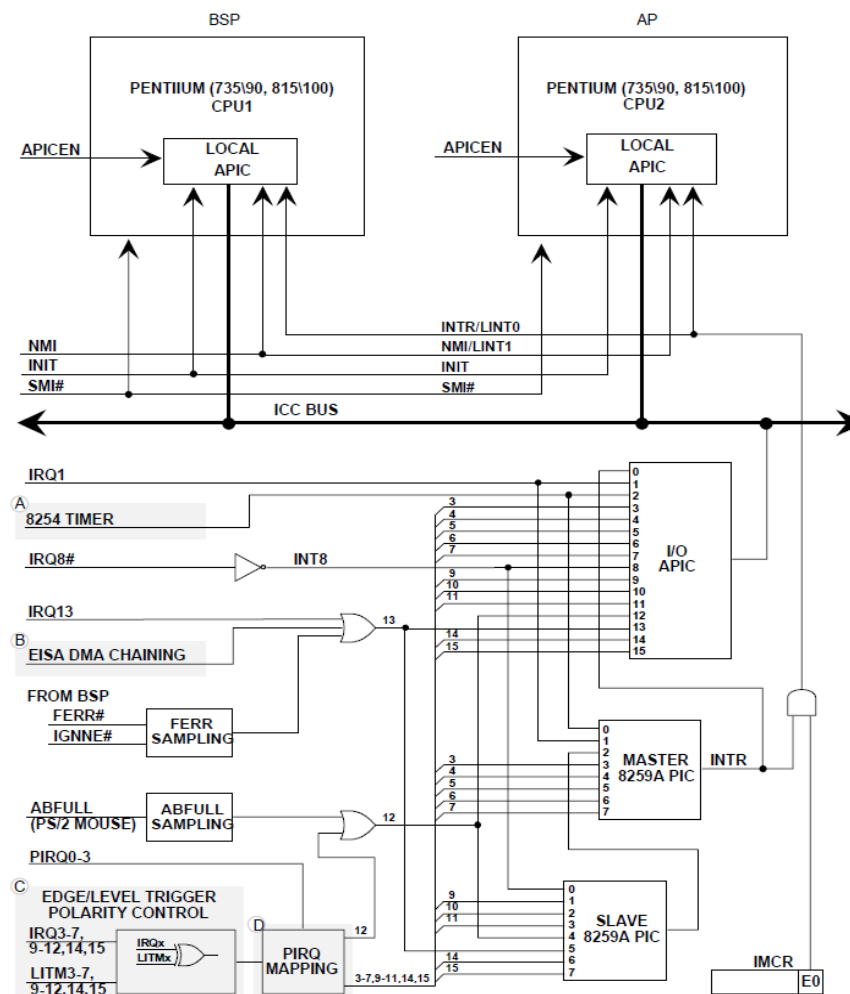
Přerušení dle původu

- Vnější přerušení – zdrojem jsou periferní obvody (časovač, COM port apod.)
- Vnitřní přerušení – výjimky
 - Dělení nulou
 - Výpadek stránky
 - Porušení paměťové ochrany
- Softwarové přerušení
 - Vyvoláno instrukcí INT <číslo>

Přerušení v chráněném režimu

- Adresy obslužných podprogramů jsou umístěny v IDT (interrupt descriptor table)
- IDT má 256 položek velikosti 8 bytů pro přerušení 0-255
- Před povolením jakéhokoliv přerušení musí operační systém vyplnit IDT

Přerušovací systém Pentia



Převzato z MultiProcessor Specification, Intel, verze 1.4, 1997

Programmable Interrupt Controller (PIC)

- Dědictví (legacy) ze starých typů PC
- Původně realizován kaskádním řazením obvodů s označením 8259
- Do řadiče vstupuje osm vnějších přerušení
- Dva řadiče v kaskádě poskytují 15 přerušení
- Provádí
 - výběr přerušení dle priority
 - Generuje signál INT (žádost o přerušení) pro procesor
 - Posílá číslo vybraného přerušení do procesoru ve speciálním cyklu INTACK
- Poskytuje sadu V/V registrů pro svoji konfiguraci na adrese 20h
- Na konci obsluhy přerušení procesor instrukcí OUT 20h, 20h indikuje řadiči konec obsluhy přerušení a řadič vybere další přerušení pro obsluhu (pokud existuje)
- Řadič dovoluje nastavit různé typy přerušení dle potřeby zařízení
 - Úrovnňové (žádost je indikována úrovní signálu žádosti)
 - Hranové (žádost je indikována změnou signálu žádosti)

Přehled přerušení (reálný mód, stará PC)

- INT0,1,3-7 vnitřní přerušení, výjimky
- INT2 - nemaskovatelné přerušení
- INT8 (IRQ0) – systémový časovač 8254
- INT9 (IRQ1) – klávesnice
- INT10 (IRQ2) – druhý 8259
- INT11 (IRQ3) – COM1/COM3 (sdílí)
- INT12 (IRQ4) – COM2/COM4 (sdílí)
- INT13 (IRQ5) – SoundCard
- INT14 (IRQ6) – Floppy
- INT15 (IRQ7) – Paralel port
- INT14 (IRQ8) – Real Time Clock
- INT15 (IRQ9) – Reserved
- INT16,17 (IRQ10,11) – Reserved
- INT18 (IRQ12) – PS2 Mouse
- INT19 (IRQ13) – Matematický koprocessor i387
- INT20 (IRQ14) - Harddisk

Advanced Programmable Interrupt Controller (APIC)

- Zaveden pro podporu multiprocesorových systémů
- Local APIC – každý procesor má svůj
- IO APIC – jeden nebo více, ale společných pro všechny procesory
- Local IO APIC posílají do IO APIC požadavky o přerušení
- Poskytuje konfigurovatelné připojení přerušovacích vstupů na jednotlivá přerušení

Local APIC

- 32 bitové konfigurační registry mapované do paměti
- Vniřní čítač pro generování hodin
- Dva vstupy pro přerušení LINT0 a LINT1
- Sběrnici ICC (Interrupt Controller Communication), kterou je napojen na jeden nebo více IO APIC obvodů

IO APIC

- Má 24 IRQ vstupů pro vnější přerušení
- Má 24 položkovou přesměrovávací tabulku (IRQ x -> INT y)
- Programovatelné registry pro konfiguraci IO APIC
- Jednotku pro komunikaci přes ICC
- Přesměrovávací tabulka obsahuje
 - Číslo vektoru přerušení
 - Prioritu
 - Cílový procesor
 - Metodu výběru procesoru

Distribuce žádostí o přerušení do lokálních APIC

- Statická
 - Přímo do procesoru uvedeného v přesměrovávací tabulce
 - Do podmnožiny procesorů
 - Všem (broadcast)
- Dynamická
 - Do procesoru, který zpracovává proces (task) s nejnižší prioritou
 - Priorita se určuje z hodnot v TPR (Task Priority Register) jednotlivých LAPIC (lokální APIC). Hodnotu TPR může operační systém dynamicky měnit podle momentálně běžícího procesu
 - V případě shodné priority (shodné hodnoty v TPR) se rozhoduje na základě arbitrážní priority v rozsahu 0-15, která nulována, pokud procesor přijme žádost o přerušení a u ostatních zvětší hodnotu o jedničku.

Meziprocesorová přerušení

- IPI (Inter Processor Interrupt)
- Jeden procesor chce vyvolat přerušení v jiném procesoru (meziprocesorová komunikace)
- Realizuje se zapsáním čísla vektoru přerušení a identifikátor cílového APICu do registru ICR (Interrupt Command Register) svého APICu, který informuje cílový APIC přes ICC (Interrupt Controller Communication)

Výjimky

- 0 – dělení nulou
- 1 – Debug (používá se ke krokování programu)
- 2 – NMI (Non-mascable Interrupt)
- 3 – Breakpoint (používá se k ladění programu)
- 4 –Přetečení (Overflow) u celočíselných aritmetických operací
- 5 –přístup do paměti mimo dané meze (Bounds check)
- 6 – neplatná operace (Invalid opcode)
- 7 – Zařízení nedostupné (týká se SSE, MMX,...)
- 8 – Dvojitá, nezpracovatelná chyba
- 9 – Problém s externím matematickým koprocесorem
- 10 – Přepnutí kontextu do neplatného task segmentu
- 11 – Nepřítomnost segmentu v paměti
- 12 – Překročení limitu zásobníku (přetečení zásobníku)
- 13 – Chyba ochrany paměti (General protection)
- 14 – Výpadek stránky
- 15 – Rezervováno
- 16 – Chyba floating point
- 17 – Chyba zarovnání paměti
- 18 – Chyba procesoru nebo sběrnice (Machine check)
- 19 – SIMD floating point výjimka
- 20-31 Rezervovány pro budoucí použití