

Paměti DRAM (4)

- Operační paměti mají ve srovnání s jinými typy vnitřních pamětí podstatně vyšší kapacitu $\Rightarrow$ nutnost jiné konstrukce
- Paměti DRAM jsou konstruovány jako matice, v nichž se jedna paměťová buňka zpřístupňuje pomocí dvou dekodérů
- Řadič operační paměti adresu rozdělí na dvě části, z nichž každá je přivedena na vstup samostatnému dekodéru (jeden dekodér vybere řádek a druhý sloupec)

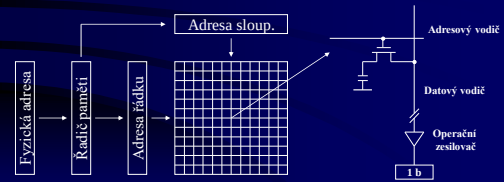
2023-11-01

1

1

Paměti DRAM (5)

- Obvody operačních pamětí pak bývají realizovány jako matice, např. 1024×1024 buněk (kapacita 1 Mb).



2023-11-01

2

2

Paměti DRAM (6)

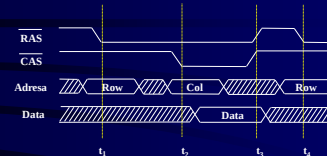
- Protože paměťové obvody nemohou mít příliš velký počet vývodů, je nutné, aby adresa řádku i sloupce byla předávána po stejné sběrnici
- Platnost adresy řádku a sloupce na sběrnici je dána (potvrzována) signály:
 - **RAS** (Row Access Strobe): adresa řádku
 - **CAS** (Column Access Strobe): adresa sloupce

2023-11-01

3

3

Paměti DRAM (7)



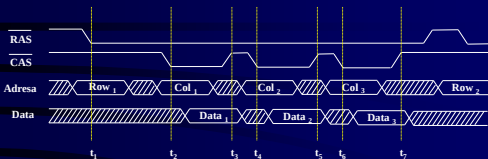
- Vždy nutno nastavit adresu řádku i adresu sloupce
- Paměti DRAM umožňují přístup s burst časováním 5-5-5-5

2023-11-01

4

4

Paměti FPM DRAM



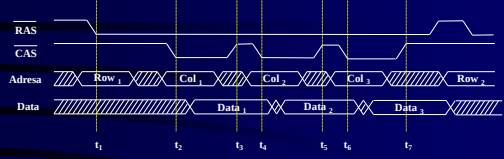
- Adresa řádku je stejná po celou dobu, kdy se provádí přístup k datům z tohoto řádku
- Paměti FPM DRAM umožňují přístup s burst časováním 5-3-3-3

2023-11-01

5

5

Paměti EDO DRAM



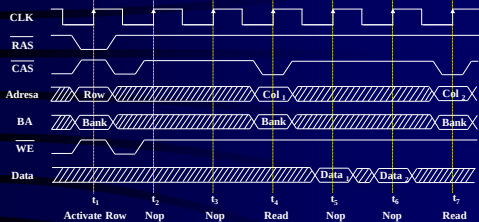
- Data se stávají neplatnými, až v okamžiku, kdy signál CAS přechází znovu do úrovně log. 0
- Paměti EDO DRAM umožňují přístup s burst časováním 5-2-2-2

2023-11-01

6

6

Paměti SDRAM (1)



- Pracují synchronně s procesorem
- Jsou rozděleny do banků
- Umožňují přístup s burst časováním 5-1-1-1

2023-11-01

7

Paměti SDRAM (2)

- Musí svou frekvencí odpovídat frekvenci systémové sběrnice
- Vyráběny s frekvencemi:
 - **PC66**: pro systémovou sběrnici s taktem 66 MHz
 - **PC100**: pro systémovou sběrnici s taktem 100 MHz
 - **PC133**: pro systémovou sběrnici s taktem 133 MHz

2023-11-01

8

Paměti DDR SDRAM (1)

- **DDR SDRAM** – Double Data Rate SDRAM
- Rychlejší verze SDRAM, která při stejné frekvenci dosahuje dvojnásobného výkonu
- Tohoto je dosaženo tím, že veškeré operace jsou synchronizovány s náběžnou i sestupnou hranou hodinového signálu (CLK)
- Provádí předvýběr dvou bitů, které ukládá do svých V/V bufferů
- Poznámka: paměťové moduly SDRAM a DDR SDRAM jsou vzájemně nekompatibilní

2023-11-01

9

Paměti DDR SDRAM (2)

- Vyráběny v následujících variantách:
 - **PC1600 (DDR200)**: pro systémovou sběrnici s taktem 100 MHz („200 MHz“)
 - **PC2100 (DDR266)**: pro systémovou sběrnici s taktem 133 MHz („266 MHz“)
 - **PC2700 (DDR333)**: pro systémovou sběrnici s taktem 166 MHz („333 MHz“)
 - **PC3200 (DDR400)**: pro systémovou sběrnici s taktem 200 MHz („400 MHz“)

2023-11-01

10

Paměti DDR SDRAM (3)

- Kromě výše uvedených pamětí DDR SDRAM jsou vyráběny i typy umožňující práci při vyšší frekvenci:
 - PC3500 (DDR433)
 - PC3600 (DDR444)
 - PC3700 (DDR466)
 - PC4000 (DDR500)
 - PC4300 (DDR533)

2023-11-01

11

Paměti DDR2 SDRAM (1)

- Standard vycházející z pamětí DDR SDRAM
- Data jsou čtena (zapisována) s nástupnou i sestupnou hranou hodinového signálu (podobně jako u DDR SDRAM)
- Poskytují dvojnásobnou přenosovou rychlost oproti DDR SDRAM
- Paměti DDR2 SDRAM mají asi o 50% menší spotřebu elektrické energie

2023-11-01

12

Paměti DDR2 SDRAM (2)

- Napájecí napětí je 1,8 V (u DDR SDRAM je napájecí napětí 2,5 V)
- Dosažení vyšší přenosové rychlosti je založeno na skutečnosti, že jádro paměťového obvodu (pracující na frekvenci např. 100 MHz) může při každém čtecím cyklu předvybrat další 4 bity z paměťové matice a uložit je V/V bufferů
- Adresa předvybíraných 4 bitů je dána interní logikou paměťového obvodu

2023-11-01

13

13

Paměti DDR2 SDRAM (3)

- Výsledkem je, že V/V část paměti může pracovat s dvojnásobnou frekvencí oproti jejímu jádru
- Následným použitím nového komunikačního protokolu je umožněno provedení 4 transakcí během jednoho taktu
- Poznámka: paměťové moduly DDR2 SDRAM a DDR SDRAM nejsou vzájemně kompatibilní

2023-11-01

14

14

Paměti DDR2 SDRAM (4)

- Typy paměti DDR2 SDRAM:

Typ paměti	Frekvence jádra (V/V sběrnice paměti)	Označení	Přenosová rychlost
DDR2 400	100 (200) MHz	PC2 3200	3200 MB/s
DDR2 533	133 (266) MHz	PC2 4300	4266 MB/s
DDR2 667	166 (333) MHz	PC2 5300	5333 MB/s
DDR2 800	200 (400) MHz	PC2 6400	6400 MB/s
DDR2 1000	250 (500) MHz	PC2 8000	8000 MB/s
DDR2 1066	266 (533) MHz	PC2 8500	8500 MB/s

2023-11-01

15

15

Paměti DDR3 SDRAM (1)

- Standard vycházející z paměti DDR2 SDRAM
- Data jsou přenášena s nástupnou i sestupnou hranou hodinového signálu (jako u DDR a DDR2 SDRAM)
- Umožňují, aby jejich V/V sběrnice pracovala se čtyřnásobnou rychlostí oproti paměťovým buňkám
- Poskytují vyšší (teoreticky dvojnásobnou) přenosovou rychlost než DDR2 SDRAM

2023-11-01

16

16

Paměti DDR3 SDRAM (2)

- Zvýšení přenosové rychlosti je dosaženo předvýběrem 8 bitů při každém čtecím cyklu a jejich uložením do V/V bufferu
- Napájecí napětí je 1,5 V
- Mají asi o 30% menší spotřebu elektrické energie než paměti DDR2 SDRAM
- Poznámka:
 - paměťové moduly DDR2 a DDR3 SDRAM nejsou vzájemně kompatibilní

2023-11-01

17

17

Paměti DDR3 SDRAM (3)

- Typy paměti DDR3 SDRAM:

Typ paměti	Frekvence jádra (V/V sběrnice paměti)	Označení	Přenosová rychlost
DDR3 800	100 (400) MHz	PC3 6400	6400 MB/s
DDR3 1066	133 (533) MHz	PC3 8500	8500 MB/s
DDR3 1333	166 (667) MHz	PC3 10600	10670 MB/s
DDR3 1600	200 (800) MHz	PC3 12800	12800 MB/s
DDR3 1866	233 (933) MHz	PC3 15000	15000 MB/s

- Existují také DDR3 SDRAM paměti umožňující práci při vyšších frekvencích, např.: DDR3 2000, DDR3 2133 a DDR3 2400

2023-11-01

18

18

Paměti DDR4 SDRAM (1)

- Nový standard vycházející z paměti DDR3 SDRAM
- Data jsou přenášena s nástupnou i sestupnou hranou hodinového signálu (jako u DDR, DDR2 a DDR3 SDRAM)
- Jejich V/V sběrnice pracuje se čtyřnásobnou rychlostí oproti paměťovým buňkám (podobně jako u DDR3)
- Poskytují vyšší (teoreticky dvojnásobnou) přenosovou rychlost než DDR3 SDRAM

2023-11-01

19

19

Paměti DDR4 SDRAM (2)

- Napájecí napětí bylo sníženo na 1,2 V a mají cca o 40 % nižší spotřebu elektrické energie
- Počet předvybraných bitů při každém čtecím cyklu zůstává na 8 bitech (jako u paměti DDR3)
- Poznámka:
 - paměťové moduly DDR3 a DDR4 SDRAM nejsou vzájemně kompatibilní

2023-11-01

20

20

Paměti DDR4 SDRAM (3)

- Typy pamětí DDR4 SDRAM:

Typ paměti	Frekvence jádra (V/V sběrnice paměti)	Označení	Přenosová rychlost
DDR4 1600	200 (800) MHz	PC4 12800	12800 MB/s
DDR4 1866	233 (933) MHz	PC4 14900	14912 MB/s
DDR4 2133	266 (1066) MHz	PC4 17000	17024 MB/s
DDR4 2400	300 (1200) MHz	PC4 19200	19200 MB/s
DDR4 2666	333 (1333) MHz	PC4 21333	21312 MB/s
DDR4 2933	366 (1467) MHz	PC4 23466	23466 MB/s
DDR4 3200	400 (1600) MHz	PC4 25600	25600 MB/s

2023-11-01

21

21

Paměti DDR5 SDRAM (1)

- Nový standard vycházející z pamětí DDR4 SDRAM
- Data jsou přenášena s nástupnou i sestupnou hranou hodinového signálu (jako u DDR, DDR2, DDR3 a DDR4 SDRAM)
- Napájecí napětí je sníženo na 1,1 V a mají cca o 20 % menší spotřebu elektrické energie
- Poskytují vyšší (teoreticky dvojnásobnou) přenosovou rychlost než DDR4 SDRAM

2023-11-01

22

22

Paměti DDR5 SDRAM (2)

- Frekvence V/V sběrnice je 2400 MHz až 3600 MHz
- V současné době vyráběny např. ve standardu:
 - DDR5-4800 (PC5-38400) $\Rightarrow$ 38400 MB/s
 - DDR5-5600 (PC5-44800) $\Rightarrow$ 44800 MB/s
 - DDR5-7200 (PC5-57600) $\Rightarrow$ 57600 MB/s
- Poznámka:
 - paměťové moduly DDR4 a DDR5 SDRAM nejsou vzájemně kompatibilní

2023-11-01

23

23

Multi-channel DDR (1)

- Nejedná se o nové typy pamětí, ale o nové architektury základních desek využívající paměti DDR, DDR2, DDR3, DDR4 a DDR5 SDRAM
- Pro práci s pamětí se využívá více kanálů
- Tímto se minimalizují doby, kdy není možné k paměti přistupovat (**memory latencies**)
- Zvyšuje přenosové rychlosti mezi operační pamětí a jejím řadičem:
 - teoreticky tolikrát, kolik je použito kanálů

2023-11-01

24

24

Multi-channel DDR (2)

- Dual-channel DDR, DDR2, DDR3, DDR4 a DDR5:

- data jsou přenášena po 128 bitech (64 bitů pro každý kanál)
- pro využití architektury Dual Channel DDR je zapotřebí:
 - čipová sada nebo procesor podporující Dual Channel DDR, DDR2, DDR3, DDR4 nebo DDR5 SDRAM
 - paměťové moduly (DIMM) musí být osazovány po dvojicích
 - oba moduly ve dvojici by měly (pro optimální využití musí) mít stejné parametry

2023-11-01

25

25

Multi-channel DDR (3)

- při použití různých typů pamětí dostáváme níže uvedené maximální přenosové rychlosti:

Typ paměti	Označení	Přenosová rychlost Single Channel	Přenosová rychlost Dual Channel
DDR200	PC1600	1600 MB/s	3200 MB/s
DDR266	PC2100	2100 MB/s	4200 MB/s
DDR333	PC2700	2700 MB/s	5400 MB/s
DDR400	PC3200	3200 MB/s	6400 MB/s
DDR2 400	PC2 3200	3200 MB/s	6400 MB/s
DDR2 533	PC2 4300	4266 MB/s	8533 MB/s
DDR2 667	PC2 5300	5333 MB/s	10666 MB/s
DDR2 800	PC2 6400	6400 MB/s	12800 MB/s
DDR2 1000	PC2 8000	8000 MB/s	16000 MB/s
DDR2 1066	PC2 8500	8500 MB/s	17000 MB/s

2023-11-01

26

26

Multi-channel DDR (4)

Typ paměti	Označení	Přenosová rychlost Single Channel	Přenosová rychlost Dual Channel
DDR3 800	PC3 6400	6400 MB/s	12800 MB/s
DDR3 1066	PC3 8500	8500 MB/s	17000 MB/s
DDR3 1333	PC3 10600	10670 MB/s	21340 MB/s
DDR3 1600	PC3 12800	12800 MB/s	25600 MB/s
DDR3 1866	PC3 15000	15000 MB/s	30000 MB/s
DDR4 1600	PC4 12800	12800 MB/s	25600 MB/s
DDR4 1866	PC4 14900	14912 MB/s	29824 MB/s
DDR4 2133	PC4 17000	17024 MB/s	34048 MB/s
DDR4 2400	PC4 19200	19200 MB/s	38400 MB/s
DDR4 2666	PC4 21333	21312 MB/s	42624 MB/s
DDR4 2933	PC4 23466	23466 MB/s	46932 MB/s
DDR4 3200	PC4 25600	25600 MB/s	51200 MB/s

2023-11-01

27

27

Multi-channel DDR (5)

- Triple-channel DDR3:

- podobná architektura jako Dual-channel DDR
- použita u procesorů Intel Core i7 (i7-900 series), které na svém čipu obsahují integrovaný řadič operační paměti, jenž podporuje DDR3 SDRAM paměti v režimu triple-channel
- tyto paměti mohou (při správné konfiguraci) komunikovat s procesorem pomocí 3 kanálů
- při použití pamětí DDR3 1066 lze dosáhnout maximální přenosové rychlosti 25,6 GB/s

2023-11-01

28

28

Multi-channel DDR (6)

- pro práci v režimu triple-channel je zapotřebí, aby:
 - paměťové moduly (DIMM) byly osazovány po trojicích:
 - jsou-li osazeny 2 moduly, pak komunikace probíhá pouze v režimu dual-channel
 - všechny moduly ve trojici měly stejné parametry
 - poznámka:
 - některé základní desky povolují také instalaci 4 modulů DIMM

- Quadruple-channel DDR3, DDR4:

- podporována u většiny procesorů Intel Core X-series
- komunikace probíhá pomocí 4 kanálů
- lze dosáhnout max. přenosové rychlosti 94 GB/s

2023-11-01

29

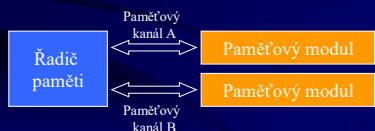
29

Multi-channel DDR (7)

- Single-channel Memory:



- Dual-channel Memory:



2023-11-01

30

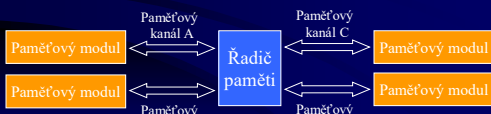
30

Multi-channel DDR (8)

- Triple-channel Memory:



- Quadruple-channel Memory:



2023-11-01

31

31

Časování pamětí (1)

- Udává počty taktů potřebné k různým operacím, které jsou prováděny v průběhu přístupu k paměti
- Operace:
 - t_{RCD} : $\overline{\text{RAS}}$ to $\overline{\text{CAS}}$ Delay:
 - časová prodleva (počet taktů) od okamžiku, kdy je vybrán (aktivován) řádek do doby, kdy je možné vybrat sloupec a potvrdit jej signálem CAS
 - při sekvenčním čtení (zápisu) nemá příliš velký dopad, protože data jsou čtena (zapisována) na stejném řádku, který je stále aktivní

2023-11-01

32

32

Časování pamětí (2)

- t_{CL} : $\overline{\text{CAS}}$ Latency:
 - počet taktů potřebný k získání informace z paměťové buňky poté, kdy byl vybrán její sloupec
 - uplatňuje se při každém přístupu k paměti $\Rightarrow$ má největší vliv na rychlost paměti
- t_{RP} : $\overline{\text{RAS}}$ Precharge Time:
 - počet taktů nutný pro ukončení přístupu k jednomu řádku paměti a pro zahájení přístupu k řádku jinému
 - ve spojení s t_{RCD} udává počet taktů nezbytných k přechodu z jednoho řádku paměti na řádek druhý, kde již může být vybrán požadovaný sloupec

2023-11-01

33

33

Časování pamětí (3)

- t_{RAS} : Active to Precharge Delay:
 - nejmenší počet taktů, po které musí být řádek aktivní, než může opět deaktivován
 - vyjadřuje minimální dobu, po kterou musí být signál $\overline{\text{RAS}}$ v aktivní úrovni
- Výše uvedené údaje bývají zapisovány ve čtyřčlenné notaci vyjadřující časování dané paměti:

$$t_{\text{CL}}-t_{\text{RCD}}-t_{\text{RP}}-t_{\text{RAS}}$$
- Např.: 2-3-3-6

2023-11-01

34

34

Paměti RDRAM (1)

- Technologie (architektura) navržená firmou Rambus Inc.
- Poprvé použita u herní konzole Nintendo 64
- Paměťové obvody jsou připojeny ke speciální vysokorychlostní sběrnici, tzv. **Rambus Channel**
- Sběrnice pro paměti RDRAM pracuje synchronně s danou frekvencí a data jsou přenášena s náběžnou i sestupnou hranou hodinového signálu

2023-11-01

35

35

Paměti RDRAM (2)

- Paměti RDRAM jsou (byly) vyráběny v následujících variantách:
 - **Concurrent RDRAM:**
 - šířka datové části sběrnice je 8 bitů (9 bitů)
 - šířka interní datové sběrnice jednotlivých paměťových obvodů je 64 bitů
 - sběrnice pracuje s rychlostí 300 MHz, popř. 350 MHz
 - přenosová rychlost je 600 MB/s (700 MB/s)
 - odpovídající paměťové moduly (RIMM) jsou označovány jako PC600 a PC700

2023-11-01

36

36

Paměti RDRAM (3)

– Direct RDRAM:

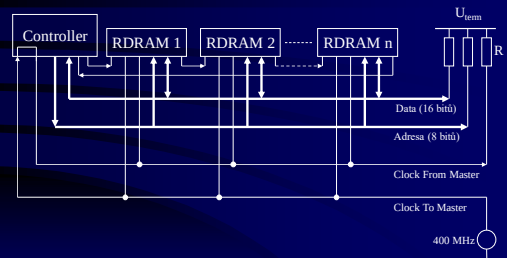
- šířka datové části sběrnice je 16 bitů (18 bitů)
- šířka interní datové sběrnice jednotlivých paměťových obvodů je 128 bitů
- sběrnice pracuje s rychlostí 400 MHz, popř. 533 MHz
- přenosová rychlost je 1,6 GB/s (2,13 GB/s)
- odpovídající paměťové moduly (RIMM) jsou označovány jako RIMM1600, RIMM2100, RIMM3200, RIMM4200, RIMM6400 a RIMM8500

2023-11-01

37

Paměti RDRAM (4)

• Architektura RDRAM:

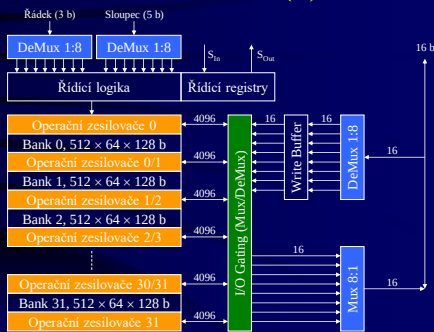


2023-11-01

38

Paměti RDRAM (5)

• Obvod RDRAM (128 Mb):



2023-11-01

39

Paměti RDRAM (6)

- Paměťový obvod je rozdělen do 32 banků
- Ke každému banku náleží sdílené operační zesilovače (**split bank**), které zesilují přečtenou (zapisovanou) informaci z (do) celého řádku (64×128 bitů = 8192 bitů)
- I/O Gating pracuje jako obousměrný multiplexor/demultiplexor, který:
 - při čtení vybere požadovaných 128 bitů
 - při zápisu sestaví 8192 bitů

2023-11-01

40

Paměti RDRAM (7)

- Při čtení je následně 128 bitů multiplexováno a po 16 bitech opouští paměťový obvod
- Při zápisu se nejprve 16bitové sady demultiplexují, čímž se vytváří 128bitová sada, která je poté přes Write Buffer a I/O Gating zapsána do paměti
- Technologie RDRAM využívá ke své činnosti „klasickou“ paměťovou buňku DRAM, která pracuje s frekvencí 100 MHz (133 MHz)

2023-11-01

41

Paměti RDRAM (8)

- Paměti RDRAM při své činnosti využívají i tzv. řídicích registrů, které jsou zapojeny do sériové smyčky (S_{In}/S_{Out})
- V těchto registrech se uchovává např.:
 - identifikace obvodu
 - parametry týkající se časování paměti
 - konfigurace paměti

2023-11-01

42

Paměti RDRAM (9)

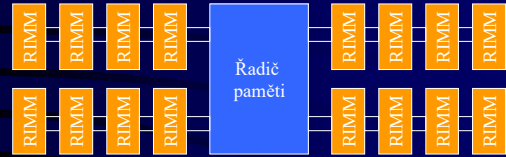
- Vzhledem k tomu, že řídicí registry jsou zapojeny do série, tak je nezbytné, aby volné pozice pro paměťové moduly (RIMM) byly osazeny speciálním průchozím modulem (C-RIMM), který zabezpečí uzavření sériové smyčky
- Architektura RDRAM může využívat i více kanálů (max. 4) pro přenos dat mezi řadičem a paměťovými moduly

2023-11-01

43

Paměti RDRAM (10)

- RDRAM se čtyřmi kanály:



- Tímto lze dosáhnout zvýšení přenosové rychlosti na 6,4 GB/s (pro RIMM 1600)

2023-11-01

44

Organizace pamětí v PC (1)

- Operační paměti jsou integrovány na miniaturních deskách plošného spoje:
 - **30-pin SIMM** (Single Inline Memory Module):
 - používány u většiny počítačů s procesory 80286, 80386SX, 80386 a některých 80486
 - mají 30 vývodů a šířku přenosu dat 8 bitů (bezparitní) nebo 9 bitů (paritní)
 - vyráběny s kapacitami 256 kB, 1 MB a 4 MB



2023-11-01

45

Organizace pamětí v PC (2)

- **72-pin SIMM** (PS/2 SIMM):

- používány u počítačů s procesory 80486 a Pentium
- mají 72 vývodů a šířku přenosu dat 32 bitů (bezparitní) nebo 36 bitů (paritní – pro každý byte jeden paritní bit)
- vyráběny s kapacitami 4 MB, 8 MB, 16 MB, 32 MB



2023-11-01

46

Organizace pamětí v PC (3)



Modul 72-pin SIMM
Modul 30-pin SIMM



Pozice pro moduly
SIMM

2023-11-01

47

Organizace pamětí v PC (4)

- **DIMM** (Dual Inline Memory Module):

- dnes nejpoužívanějším typem paměťových modulů
- počet vývodů:
 - 168 vývodů: FPM DRAM, EDO DRAM, SDRAM
 - 184 vývodů: DDR SDRAM
 - 240 vývodů: DDR2 SDRAM a DDR3 SDRAM
 - 288 vývodů: DDR4 a DDR5 SDRAM
- vyrábějí se s kapacitami 16 MB, 32 MB, 64 MB, 128 MB, 512 MB, 1 GB, 2 GB, 4 GB, 8 GB, 16 GB, 32 GB a 64 GB
- šířka přenosu dat je 64 bitů
- používají se u počítačů s procesory Intel Pentium a vyššími

2023-11-01

48

Organizace pamětí v PC (5)



Modul DIMM se 168 vývody



Modul DIMM se 184 vývody

2023-11-01

49

49

Organizace pamětí v PC (6)



Moduly DIMM DDR2 SDRAM s 240 vývody

2023-11-01

50

50

Organizace pamětí v PC (7)



Modul DIMM DDR3 SDRAM s 240 vývody

2023-11-01

51

51

Organizace pamětí v PC (8)



Modul DIMM DDR4 SDRAM s 288 vývody

2023-11-01

52

52

Organizace pamětí v PC (9)



Modul DIMM DDR5 SDRAM s 288 vývody

2023-11-01

53

53

Organizace pamětí v PC (10)

– RIMM (Rambus Inline Memory Module):

- paměťový modul pro obvody typu RDRAM
- pro Concurrent RDRAM jsou vyráběny jako:
 - PC600: moduly pro frekvenci 300 MHz („600 MHz“)
 - PC700: moduly pro frekvenci 350 MHz („700 MHz“)
- pro Direct RDRAM existují v následujících variantách:

Typ	16-bit		32-bit		64-bit	
Označení	RIMM1600	RIMM2100	RIMM3200	RIMM4200	RIMM6400	RIMM8500
Frekv. sběrnice	400 MHz	533 MHz	400 MHz	533 MHz	400 MHz	533 MHz
Přenosová rychl.	1600 MB/s	2133 MB/s	3200 MB/s	4266 MB/s	6400 MB/s	8532 MB/s
Síťka dat. sběrnice	16 b (18 b)	16 b (18 b)	32 b (36 b)	32 b (36 b)	64 b (72 b)	64 b (72 b)
Počet vývodů	168, 184	168, 184	232	232	326	326

2023-11-01

54

54

Organizace pamětí v PC (11)



Modul RIMM



Modul C-RIMM

2023-11-01

55

55

Paměťové banky (1)

- Nejmenší jednotka paměti, která může být do počítače přidána, popř. z počítače odebrána
- Velikost jednoho banku je závislá na šířce datové sběrnice procesoru
- Je nutné, aby šířka přenosu dat modulů v jednom banku byla stejná jako šířka datové sběrnice procesoru

2023-11-01

56

56

Paměťové banky (2)

- Typické velikosti paměťových banků:

Procesor	Šířka datové sběrnice	30-pin SIMM	72-pin SIMM	DIMM
80286	16 bitů	2 moduly	nepoužívá se	nepoužívá se
80386SX	16 bitů	2 moduly	nepoužívá se	nepoužívá se
80386	32 bitů	4 moduly	nepoužívá se	nepoužívá se
80486DX, SX	32 bitů	4 moduly	1 modul	nepoužívá se
Pentium	64 bitů	nepoužívá se	2 moduly	1 modul
Pentium Pro	64 bitů	nepoužívá se	2 moduly	1 modul
Celeron, Pentium II, III, 4, D, Core 2 Duo, Core i5, i7	64 bitů	nepoužívá se	(2 moduly) nepoužívá se	1 modul

2023-11-01

57

57

Cache paměti (1)

- Cache paměť:
 - rychlá vyrovnávací paměť mezi rychlým zařízením (např. procesor) a pomalejším zařízením (např. operační paměť)
 - vyrobena z obvodů SRAM s přístupovou dobou 1 – 20 ns
- V dnešních počítačích se běžně používají dva, popř. tři druhy cache paměti:

2023-11-01

58

58

Cache paměti (2)

- L2 (externí, sekundární) cache:

- umístěna mezi pomalejší operační paměti a rychlým procesorem
- slouží jako vyrovnávací paměť u počítačů s výkonným procesorem, které by byly bez ní operační paměti velmi zpomalovány
- první L2 cache paměti se objevují u počítačů s procesorem 80386 (o kapacitě 32 kB, 64 kB)
- s výkonnějšími procesory se postupně zvyšuje i kapacita (128 kB, 256 kB, 512 kB, 1024 kB a více)
- řízena řadičem cache paměti (součást čipové sady, popř. čipu procesoru)

2023-11-01

59

59

Cache paměti (3)

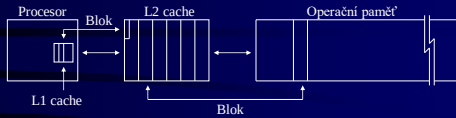
- osazena na:
 - základní desce: 80386 – Pentium (MMX)
 - v pouzdře procesoru: Pentium Pro – Pentium III
 - na čipu procesoru: Pentium III, Pentium 4, Pentium D, Core 2 Duo, Core 2 Quad, Pentium Dual Core, Core i5, Core i7, Core i3, Core i9
- L1 (interní, primární) cache:
 - slouží k vyrovnání rychlosti velmi výkonných procesorů a pomalejších L2 cache pamětí
 - integrována přímo na čipu procesoru
 - poprvé se objevuje u procesoru 80486 (s kapacitou 8 kB)
 - řízena řadičem L1 cache paměti, který je integrován na čipu procesoru

2023-11-01

60

60

Cache paměti (4)



- Práce cache paměti vychází ze skutečnosti, že program má tendenci se při své práci určitou dobu zdržovat na určitém místě paměti, a to jak při zpracování instrukcí, tak při načítání (zapisování) dat z (do) paměti – tzv. **princip lokality**

2023-11-01

61

61

Cache paměti (5)

- Pokud dojde k zaplnění cache paměti a je potřeba zavést další blok, je nutné, aby některý z bloků cache paměť opustil
- Nejčastěji se k tomuto používá **LRU** (**L**east **R**ecently **U**sed) algoritmu, tj. algoritmu, který vyřadí nejdéle nepoužívaný blok
- Cache paměť neuchovává souvislý adresový prostor $\Rightarrow$ bývají organizovány jako tzv. **asociativní paměti**

2023-11-01

62

62

Cache paměti (6)

- Asociativní paměti jsou tvořeny tabulkou (tabulkami), která obsahuje:
 - tagy**: klíče, podle kterých se v asociativní paměti vyhledává
 - uchovávané informace: data a instrukce
 - další informace nutné k zajištění správné funkce paměti, např. informace:
 - o platnosti (neplatnosti) uložených dat
 - pro realizaci LRU algoritmu
 - protokolu **MESI** (**M**odified **E**xclusive **S**hared **I**nvalid)

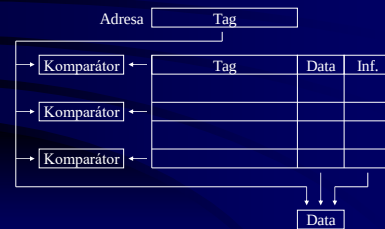
2023-11-01

63

63

Cache paměti (7)

- Rozdělení cache paměti podle stupně asociativity:
 - plně asociativní:**



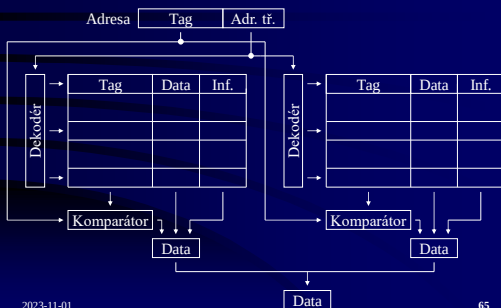
2023-11-01

64

64

Cache paměti (8)

- n-cestně asociativní (2-cestně asociativní):**



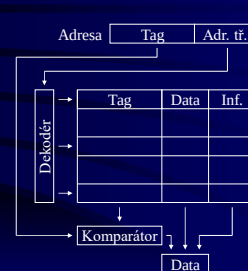
2023-11-01

65

65

Cache paměti (9)

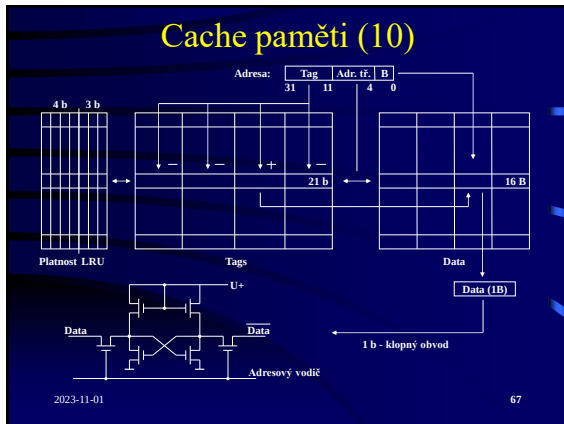
- přímo mapované (1-cestně asociativní):**



2023-11-01

66

66



Cache paměti (11)

- Podle způsobu práce při zapisování dat lze cache paměti ještě rozdělit do dvou skupin:
 - write-through:**
 - v případě zápisu procesoru do cache paměti dochází okamžitě i k zápisu do operační paměti
 - procesor tak obsluhuje jen zápis a o další osud dat se stará cache paměť
 - write-back:**
 - data jsou zapisována do operační paměti až ve chvíli, kdy je to třeba, a nikoliv okamžitě při jejich změně

68

Cache paměti (12)

- k zápisu dat do operační paměti tedy dochází např. v okamžiku, kdy je cache paměť zcela zaplněna a je třeba do ní umístit nová data
- tento způsob práce cache paměti vykazuje oproti předešlému způsobu vyšší výkon
- Kromě L1, L2 a L3 cache pamětí je možné se setkat i se specializovanými cache pamětmi umístěnými mezi operační paměť a některé pomalejší zařízení (pevný disk apod.)

69

Rozšiřující sběrnice (1)

- Sběrnice:**
 - soustava vodičů, která umožňuje přenos signálů mezi jednotlivými částmi počítače
 - pomocí těchto vodičů mezi sebou jednotlivé části počítače komunikují a přenášejí data
- Rozšiřující sběrnice (sběrnice):**
 - sběrnice počítačů umožňující jejich snadné rozšiřování o další zařízení, např.:
 - zvukové karty
 - síťové karty
 - řadiče disků

70

Rozšiřující sběrnice (2)

- standard, dohoda o tom, jak vyrobit zařízení (rozšiřující karty), která mohou pracovat ve standardním počítači
- obsahuje konektory (tzv. **sloty**), pomocí nichž lze připojit rozšiřující karty
- Typy sběrnic:**
 - synchronní sběrnice:**
 - sběrnice pracující synchronně s procesorem počítače
 - platnost údajů na sběrnici jednoznačně určuje hodinový signál
 - tímto způsobem dnes pracuje většina sběrnic

71

Rozšiřující sběrnice (3)

- multimaster sběrnice:**
 - dovoluje tzv. **busmastering**
 - sběrnice, která může být řízena několika zařízeními, nejen procesorem (řadičem sběrnice)
 - je možné, aby některé ze zařízení, které je ke sběrnici připojené (např. řadič pevného disku), na určitou dobu převzalo její řízení
 - po dobu, kdy takto řídí celou sběrnici, může toto zařízení rychleji a efektivněji provést své operace (např. přenos velkého objemu dat z pevného disku) a potom opět řízení vrátit procesoru (řadiči sběrnice)

72

Rozšiřující sběrnice (4)

– lokální sběrnice:

- spočívá ve vytvoření technické podpory toho, že se náročné operace s daty realizují rychlou systémovou sběrnici
- systémová sběrnice se prodlouží a umožní se tak přístup na ni i ze zásuvných modulů (rozšiřujících karet) dalších zařízení
- původně propagované zejména výrobci grafických karet
- Příklad: VL bus

2023-11-01

73

73

Parametry sběrnic

• Šířka přenosu:

- počet bitů, které lze zároveň po sběrnici přenést
- jednotka: bit

• Frekvence:

- maximální frekvence, se kterou může sběrnice pracovat
- jednotka: Hz

• Rychlost (propustnost):

- počet bytů přenesených za jednotku času
- jednotka: B/s

2023-11-01

74

74