Memorija

Pojmovi

- **Memorija** - specijalizovan hardver namenjen čuvanju informacija.
- Sastoji se od **memorijskog medijuma** i **upravljačkog sistema**.
- Dve osnovne operacije, čitanje i pisanje.

Pojmovi

- Podaci (u glavnoj memoriji) organizovani u **reči** (kao osnovne jedinice)*.
- Van glavne memorije postoje različiti načini organizacije(npr. sektori kod hard diska)

*Dužina reči memorije(najčešće) odgovara dužini instrukcije, odnosno dužini prikazivanja celog broja, odnosno dužini procesorske reči.

Načini pristupa memoriji

- **Adresni pristup** - podaci se traže po njihovoj lokaciji
  1. Direktni
  2. Poludirektni
  3. Sekvencijalni
- **Asocijativni pristup** - podaci se traže po sadržaju

Direktni pristup

- Karakteristično za RAM
- Svaka memorijska lokacija ima jedinstveni identifikator
- Vreme pristupa konstantno
- Takođe se naziva i slučajni pristup

Poludirektni pristup

- Grupa podataka nalazi se na istoj adresi
- Karakteristično kod spoljne memorije (recimo, hard diskova, gde su podaci organizovani po sektorima)
- Vreme pristupa zavisi od pozicije mehanizma za čitanje

Sekvencijalni pristup

- Podaci organizovani u zapise koji slede jedan za drugim
- Da bi se našao neki podatak, mora se preći kroz sve predhodne
- Primer, magnetne trake (kod starijih računara)
- Vreme pristupa se razlikuje za svaki podatak

Asocijativni pristup

- Reč se iz memorije izvlači na osnovu sadržaja, a ne na osnovu lokacije
- Vreme pristupa konstantno
- Čest slučaj kod keš memorija

Vreme pristupa

- Vreme koje protekne od dovođenja signala (za čitanje ili upis) do trenutka kada je podatak na magistrali podataka, ili do trenutka kada je podatak upisan, respektivno.
- Vreme između dva uzastopna pristupa memoriji jeste **memorijski ciklus***.

*u opštem slučaju duži od vremena pristupa zbog tehničkih razloga

Hijerarhija memorija

- Bitne karakteristike: brzina memorije, kapacitet, cena
- Idealni računar imao bi jeftinu, brzu memoriju velikog kapaciteta

Hijerarhija memorija

- Za efikasan rad suštinski bitna brzina memorije.
- Prilaskom kroz hijerarhiju:
  - smanjije se cena po bitu
  - povećava se kapacitet
  - povećava se vreme pristupa
  - smanjuje se učestalost pristupa memoriji od strane procesora.

Hijerarhija memorija

Registri

- Lokalna memorija procesora
- Čuva podatke dok se obrađuju
- Desetak registara po procesoru
- Vreme pristupa ~1ns

Keš

- Cache - skriven (fr.)
- Brza memorija (brzine procesora ili uporediva)
- Sastoji se od **keš kontrolera** i **memorijskih (SRAM) čipova.**
- L1 unutar čipa (nekoliko desetina kilobajta)
- L2 van čipa (nekoliko megabajta), vreme pristupa ~10ns

Operativna (glavna) memorija

- Vreme pristupa nekoliko desetina ns
- Procesor joj može pristupiti direktno

Hard disk/SSD

- Vreme pristupa nekoliko desetina ms.
- Pristup poludirektan (podaci organizovani u sektore).
- Kod HDD-a podaci se čuvaju magnetskim putem
- Kod SSD-a podaci se čuvaju elektronskim putem, na NAND čipovima (flash memorija)

Memorija sa izmeljivim diskovima

- CD
- DVD
- Floppy
- Vreme pristupa nekoliko stotina ms (kod optičkih medijuma) do sekinde (kod magnetskih traka)

Virtuelizacija

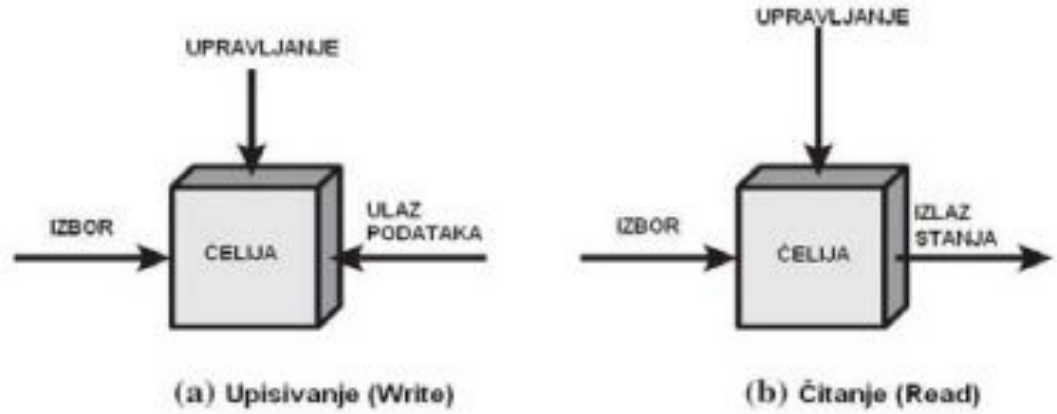
- Proces prividnog povećanja kapaciteta memorije
- Adresni prostor (skup svih mogućih adresa) objedinjuje primarnu i sekundarnu memoriju (RAM i hard disk)
- Svaka virtuelna adresa identifikuje podatak koji može biti u RAM-u ili na hard disku
- Ukoliko je podatak na hard disku, on se mora prebaciti u RAM kako bi se mogao obraditi (**straničenje**)

Neki parametri memorija

Memorijski medijum	Tipično srednje vreme pristupa	Propusna moć	Kapacitet medijuma	Obim bloka prebačenog sa višeg na niži nivo	Ko upravlja prenosom podataka
Registri CPU-a	200ps-1ns	0.5-60GB/s	256B-1kB	Reč obima 2B ili 4B	Upravljačka jedinica CPU-a
L1 keš memorija	5-10ns	0.8-1GB/s	16-64kB	Linija 4-32B	Primarni keš kontroler
L2 keš memorija	15-40ns	0.1-0.3GB/s	128kB-1GB	Linije 4-128B	Sekundarni keš kontroler
Glavna memorija	50-100ns	20-80MB/s	256MB-1GB	Stranice 4kB	MMU (upravljačka jedinica memorije)
Slotovi proširenja glavne memorije	75-500ns	800kB-30MB/s	1-10GB	Stranice 4kB	MMU
Disk keš	60-500ns	900kB-30MB/s	1-10MB	Blokovi 4kB	Kontroler uređaja
Hard disk	5-50ms	1200-6000kB/s	100-500GB	Fajlovi obima MB	Kontroler uređaja
Flopi disk	95ms	100-200kB/s	1.44MB	Fajlovi obima MB	Kontroler uređaja
CD-ROM	100-500ms	500-4000kB/s	600MB-20GB	Fajlovi obima MB	Kontroler uređaja
Trake (cartridge)	0.5s pa naviše	2000kB/s	1-10TB	Fajlovi obima MB	Kontroler uređaja

Poluprovodničke memorije

- Primarna memorija izrađena je u **poluprovodičkoj tehnologiji**. Osnovni element poluprovodničke memorije je **memorijska ćelija.**



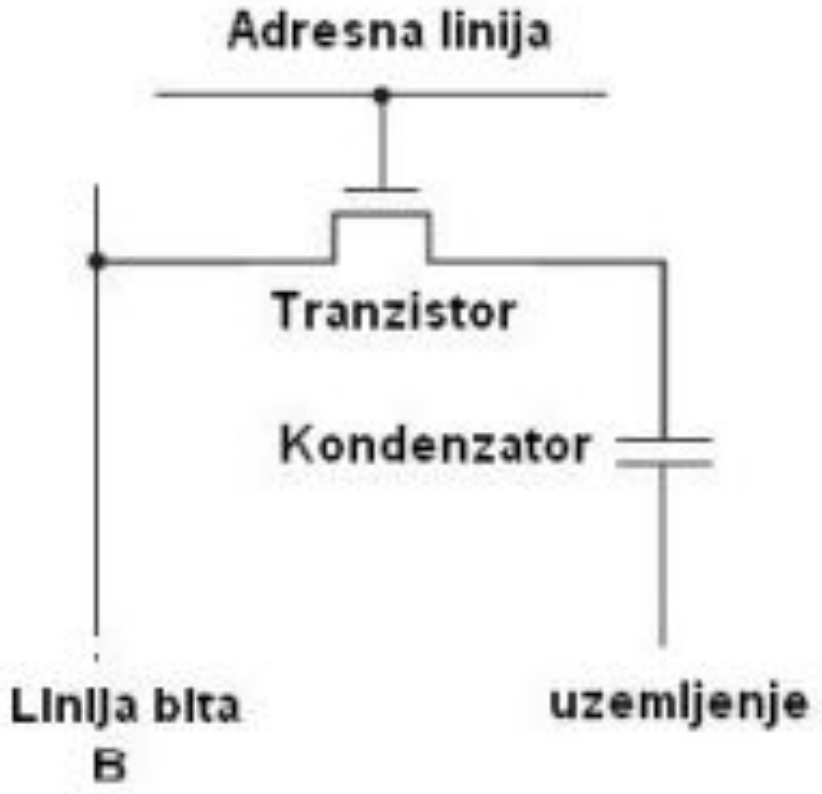
Poluprovodničke memorije

- Ćelija najčešće ima tri terminala koji mogu da nose električni signal.
  1. upravljački terminal
  2. terminal izbora
  3. ulazno/izlazni terminal

Poluprovodničke memorije

- **RAM** - random access memory, za čitanje i pisanje
- **ROM** - read only memory, za trajno čuvanje podataka, pri čemu se može samo čitati
- RAM mogu biti **statičke** i **dinamičke**
- Memorijski elementi izrađeni su od **tranzistora**.
  1. bipolarni tranzistori (npn, pnp)
  2. MOS tranzistori (NMOS, PMOS)

DRAM


Adresna linija
Tranzistor
Kondenzator
Linija bita
B
uzemljenje

DRAM

- Jednostavna tehnologija
- Može se gusto pakovati
- Mora da se osvežava (potreban poseban hardver za osvežavanje)
- Problem - potreba za memorijom dok se ona osvežava

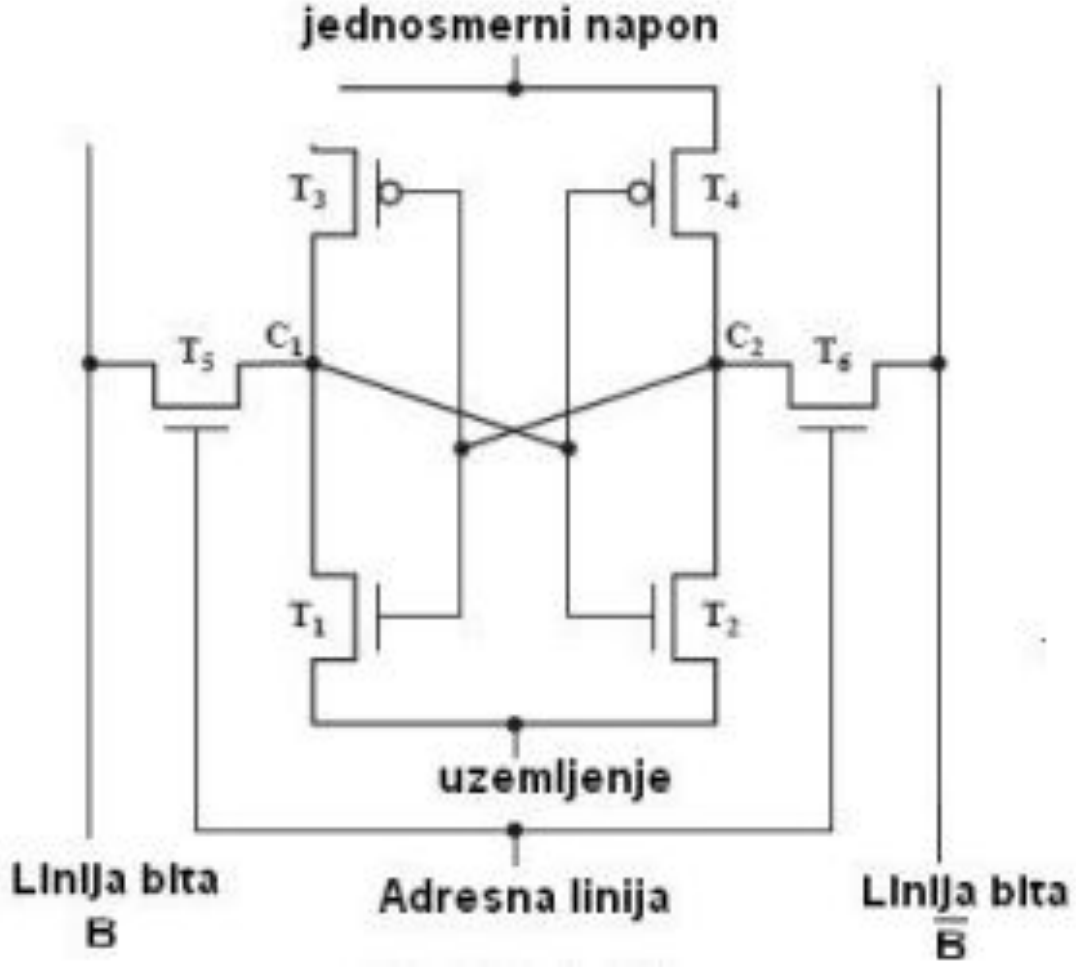
DRAM

- Generalno, DRAM je asihnrona memorija, tj. radi van procesorskog takta.
- **SDRAM** ili sinhroni DRAM radi na taktu procesora, što znači da je spreman za prenos podataka kada CPU to i očekuje.
- Prenos kod SDRAM traje nekoliko taktova, tako da je CPU slobodan da radi neki drugi posao

DRAM

- **DDR SDRAM** je dvostruko brža od SDRAM memorije, zato što podatke može da šalje i na uzlaznom i na silaznom delu signala. Danas imamo verzije DDR3 i DDR4 ove memorije

SRAM


jednosmerni napon
T3
T4
T5
C1
C2
T6
T1
T2
uzemljenje
Linija bita
B
Adresna linija
Linija bita
B

SRAM

- Ćelije su bistabilne
- Ne zahtevaju osvežavanje
- Mnogo tranzistora => gustina pakovanja znatno manja od DRAM memorije
- Skupe

Postojane (poluprovodničke) memorije

- Postojane memorije možemo podeliti u sledeće klase:
  - MASK ROM memorije kod kojih se sadržaj unosi još u procesu proizvodnje,
  - PROM memorije kod kojih se sadržaj unosi naknadno,
  - EPROM memorije kod kojih se naknadno uneti sadržaj može i izbrisati i
  - NVRAM memorije koje se veći deo vremena ponašaju kao ROM, ali čiji se podaci mogu promeniti na zahtev

MASKROM

- Sadržaj memorije definiše se u samom procesu proizvodnje
- U finalnom delu proizvodnje, tranzistori ove memorije se povezuju graviranjem metalne maske koja se naknadno nanosi
- Ukoliko želimo logičku jedinicu, između adresne linije i linije podataka postavlja se dioda

PROM

- Programmable ROM - korisnik može sam trajno da zapiše podatak (jednom)
- Redno sa diodom ugrađen topljivi osigurač
- Programiranje podrazumeva da se na mestima logičke nule osigurač otopi

EPROM

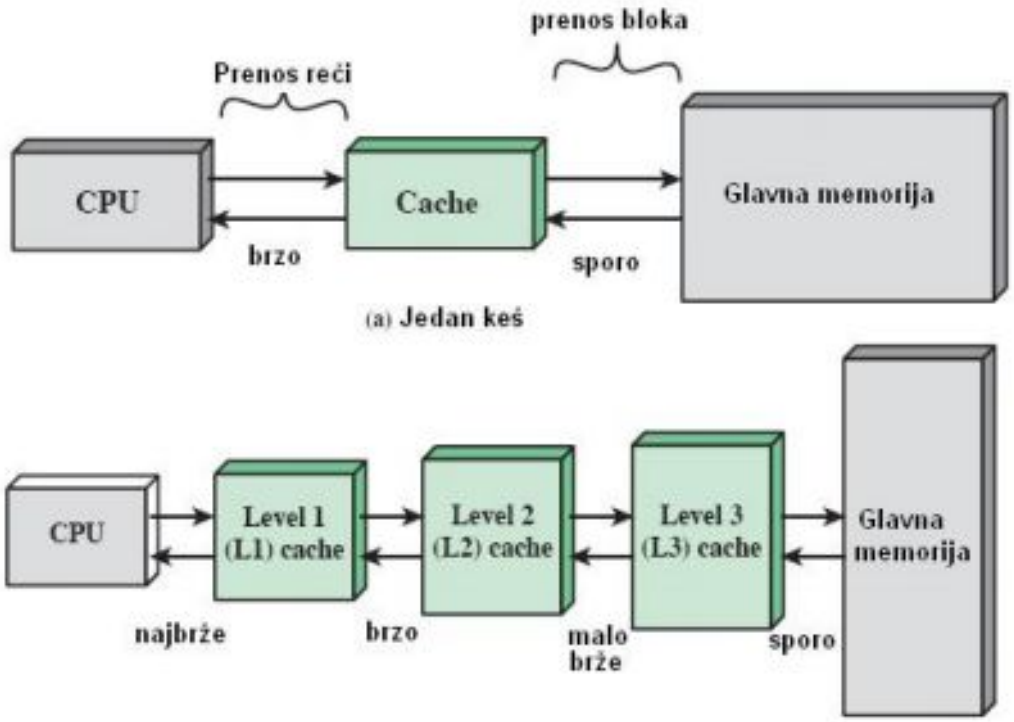
- Erasable PROM
- Programiranje se vrši preko posebnog kontrolera, brisanje u komorama sa ultraljubičastom svetlošću
- EEPROM - electrically EPROM, brisanje se vrši električnim putem. Poseban tip EEPROM jeste flash memorija (dobila naziv po velikoj brzini upisa)

NVRAM

- Non-volatile RAM, memorija sa nasumičnim pristupom i postojanim čuvanjem podataka
- Izrađena najčešće u CMOS tehnologiji

Keš memorije

- Velikoj i realtivno sporoj glavnoj memoriji pridružuje se manja, brža i skuplja keš memorija u koju se upisuje kopija delova informacija iz glavne memorije koji se najčešće koriste, pa se na taj način ubrzava pristup.



Keš

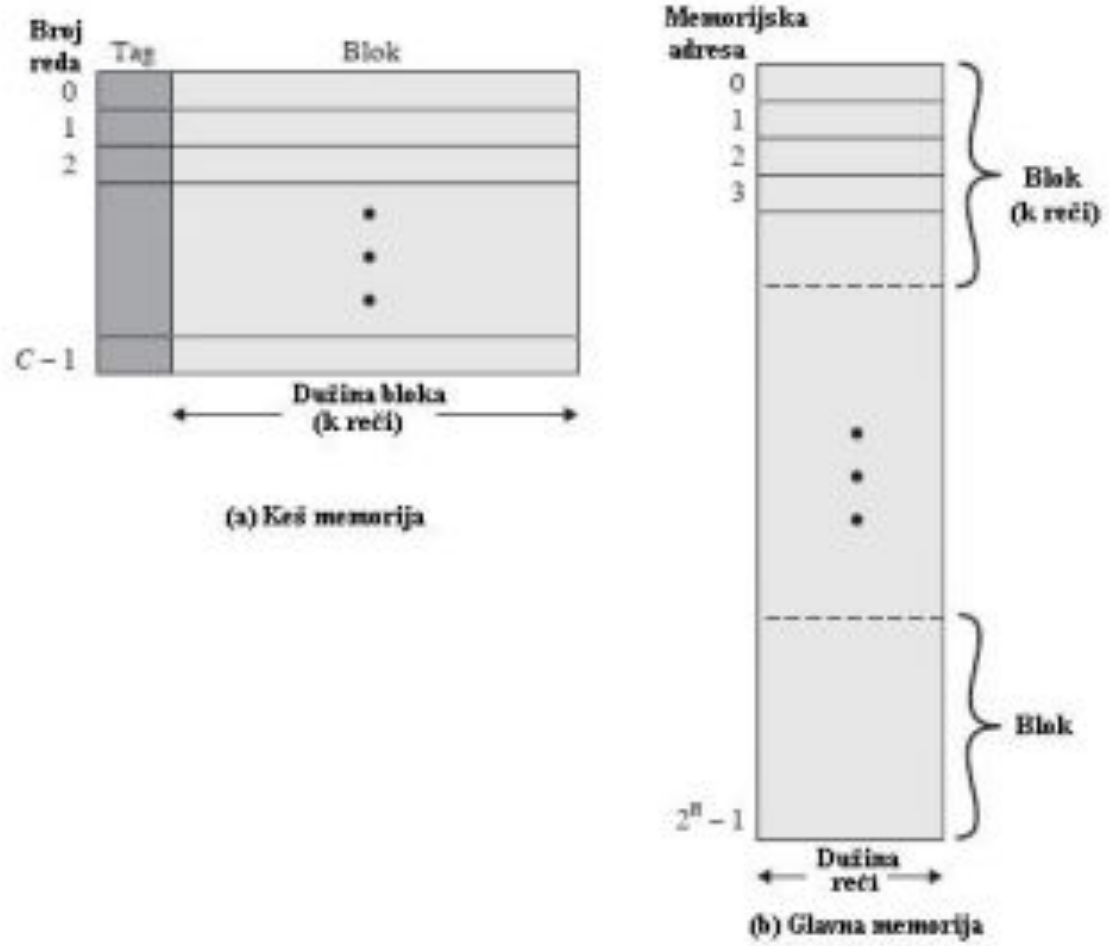
- Zasniva se na principu **lokalnosti** (prostorne i vremenske)
- Vremenska lokalnost - instrukcije koje su skoro korišćene će verovatno biti ponovo korišćene
- Prostorna lokalnost - instrukcije koje se nalaze blisko u memoriji će verovatno biti korišćene brzo jedna posle druge

Keš

- Procesor šalje upit za neki podatak upravljačkom sistemu memorije. Keš kontroler će proveriti da li se taj podatak nalazi u okviru SRAM čipova (**cache hit**).
- Možemo prvo tražiti u keš memoriji (look through cache), ili keš može nadgledati upit RAM memoriji i onda obezbediti podatak ako se nalazi kod njega (look aside cache)
- Ukoliko podatak nije u kešu, to je **cache miss**.

Keš

- U slučaju promašaja, izmenjeni podaci iz keša vraćaju se u RAM, a u keš se ubacuje segmenat podataka iz RAM koji sadrži promašeni podatak (**keš linija/punjenje keš linije**)



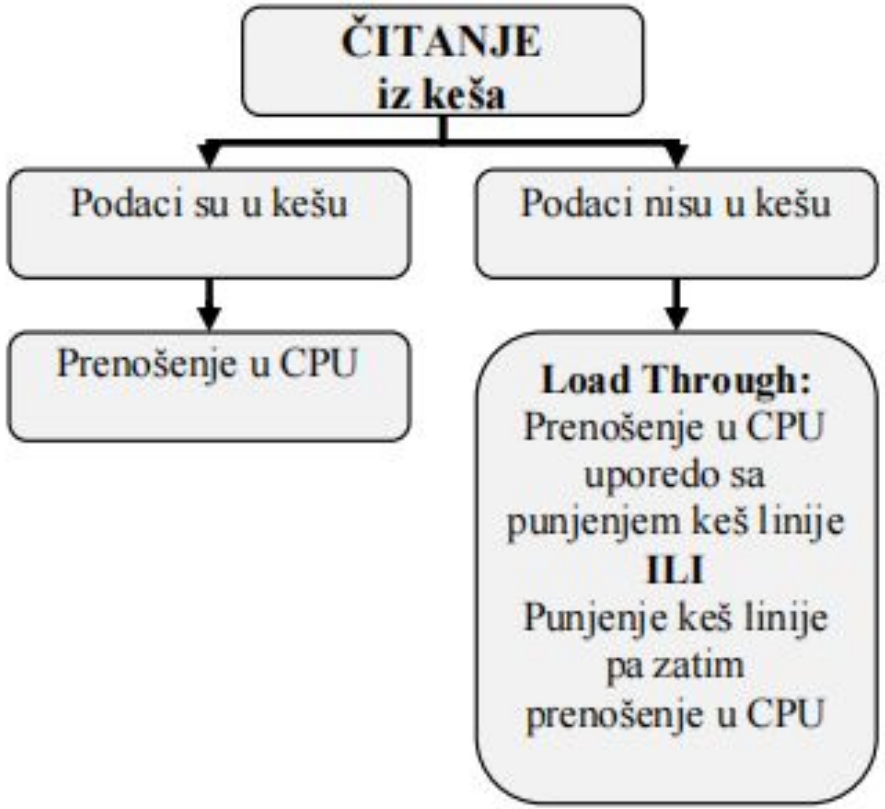
Keš

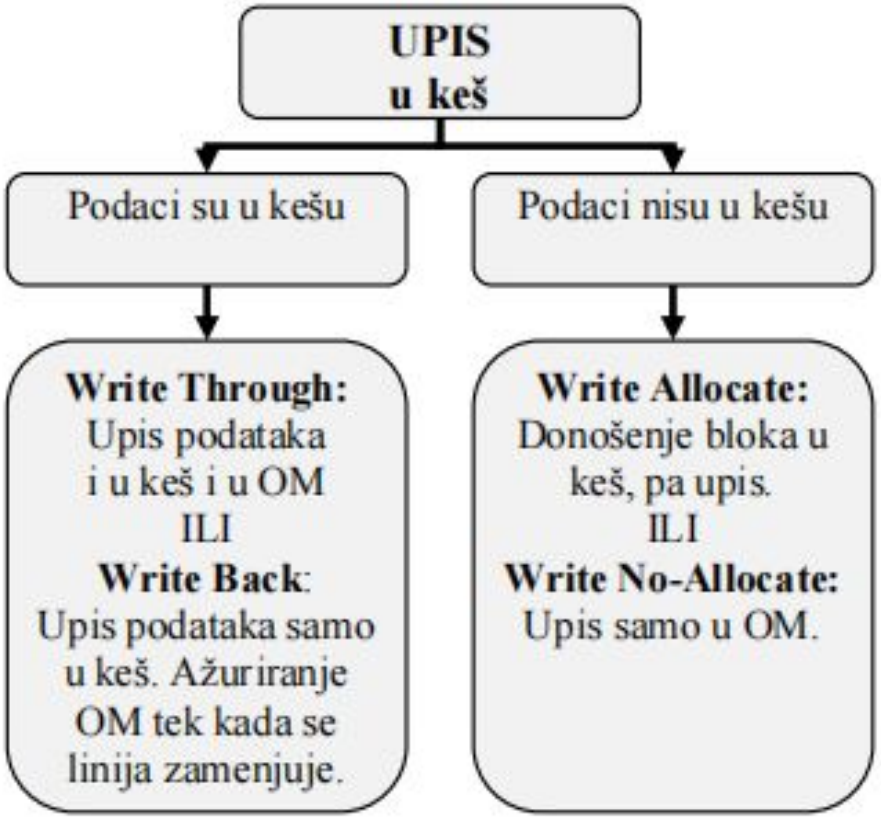
- RAM se sastoji od reči, koje se organizuju u blokove od po k reči
- Keš se sastoji od redova, u svakom redu može biti upisan jedan blok
- Tag, identifikator koji blok u memorije se nalazi u nekom redu (nema dovoljno redova za sve blokove)

Keš

- Veza između redova u kešu i blokova u RAM data je **funkcijom mapiranja**
- Ukoliko je keš pun, neku liniju treba vratiti nazad u RAM i doneti nove podatke; ovo je određeno **algoritmom zamene**

Keš


ČITANJE
iz keša
Podaci su u kešu
Prenošenje u CPU
Podaci nisu u kešu
Load Through:
Prenošenje u CPU
uporedo sa
punjenjem keš linije
ILI
Punjenje keš linije
pa zatim
prenošenje u CPU


UPIS
u keš
Podaci su u kešu
Write Through:
Upis podataka
i u keš i u OM
ILI
Write Back:
Upis podataka samo
u keš. Ažuriranje
OM tek kada se
linija zamenjuje.
Podaci nisu u kešu
Write Allocate:
Donošenje bloka u
keš, pa upis.
ILI
Write No-Allocate:
Upis samo u OM.

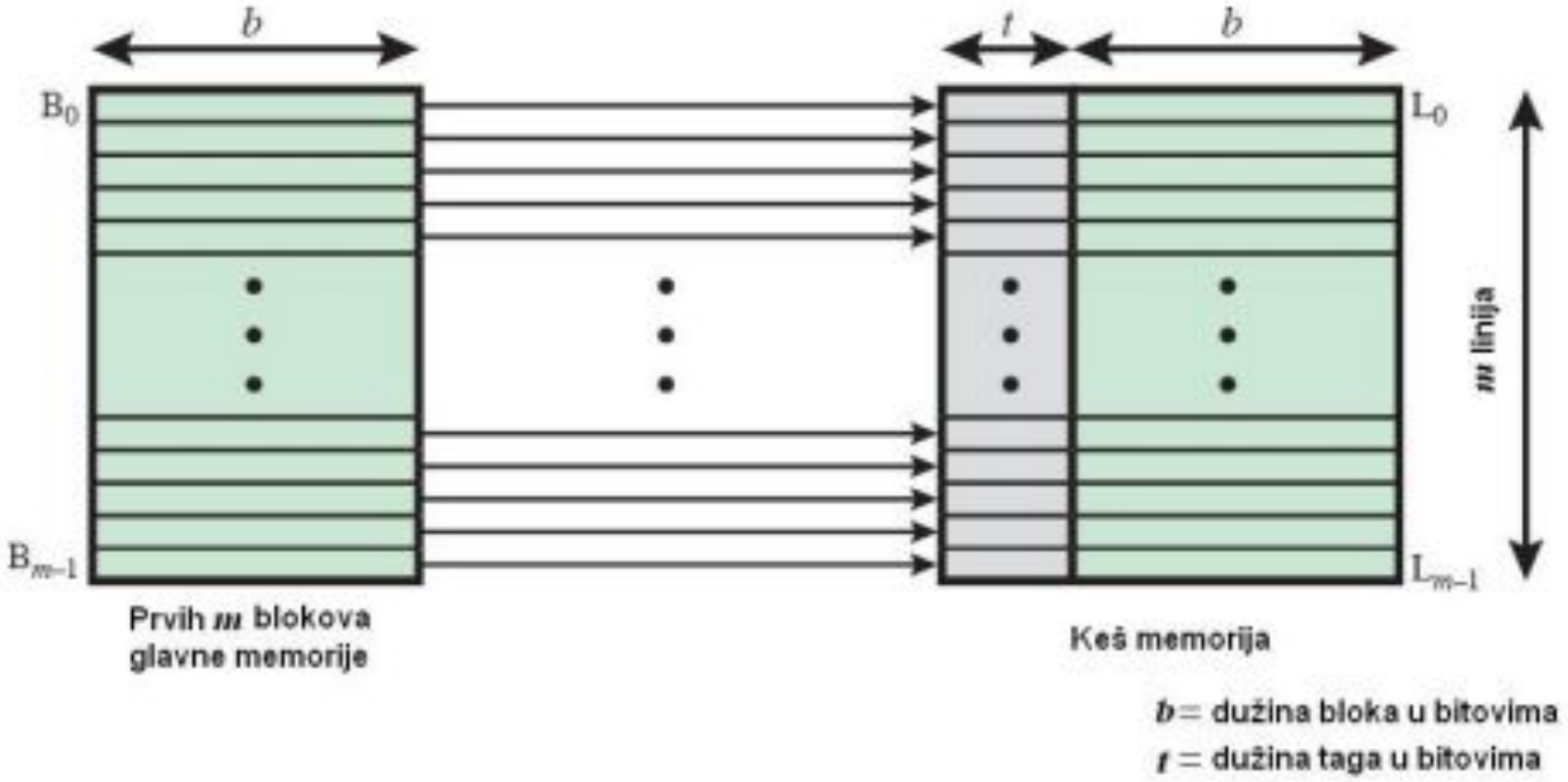
Strategije za popunjavanje keša

- Odabir funkcije preslikavanja
- Mogu da se koriste tri tehnike:
  1. direktno preslikavanje,
  2. asocijativno preslikavanje
  3. set asocijativno preslikavanje.

Strategije za popunjavanje keša

–Neka su pretpostavke sledeće: Dužina reči u memoriji je 1B. Memorija je veličine 128 bajtova, što znači da postoji 2^7 mogućih adresa. Samim tim, adresa je dužine 7 bitova. Neka je veličina svakog bloka u RAM memoriji 8B. To znači da postoji ukupno 16 blokova unutar RAM. Neka je ukupna veličina keša 32B. Svaki red(linija) u kešu odgovara jednom bloku, pa ukupno postoje 4 moguća reda.

Direktno preslikavanje

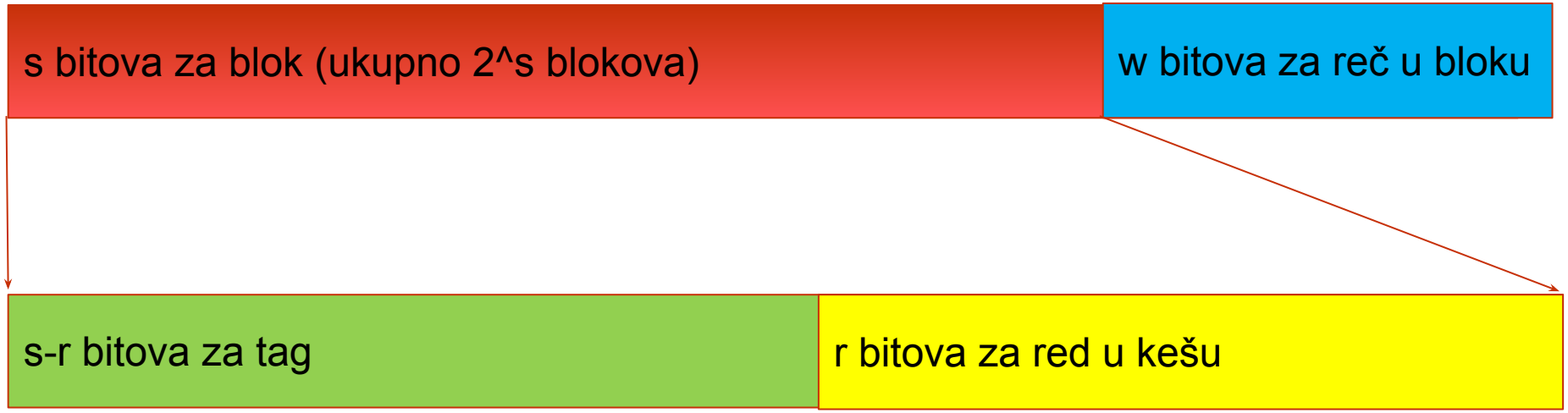


Direktno preslikavanje

- Svaki blok u RAM se preslikava samo u jedan red keš memorije. Funkcija preslikavanja u ovom slučaju je
  - i = j mod m gde je:
    - i = broj reda keša
    - j = broj bloka glavne mem.
    - m = broj redova u kešu.

Direktno preslikavanje

- Memorijska adresa se sastoji od tri dela



Direktno preslikavanje

- Upotreba dela adrese kao broja reda obezbeđuje jedinstveno preslikavanje svakog bloka glavne memorije u keš. Kada se blok stvarno učita u njemu dodeljen red, potrebno je da se obeleže podaci kako bi se razlikovali od drugih blokova koji bi mogli da se upišu u taj red. U tu svrhu služi najznačajnijih s - r bitova.

Direktno preslikavanje

Blokovi glavne memorije		Mogu da se upišu red keša
$0, m, 2m, \ldots, 2^s - m$	$\rightarrow$	0
$1, m+1, \ldots, 2^s - m+1$	$\rightarrow$	1
...		...
$m-1, 2m-1, 3m-1, \ldots, 2^s - 1$	$\rightarrow$	m-1

Asocijativno preslikavanje

- Prevazilazi nedostatak direktnog preslikavanja, svaki blok može da se učita u bilo koji red keša
- Koristi asocijativnu memoriju (lokacija podatka definisana njegovim sadržajem, ne adresom)
- Ovakve memorije nazivaju se i **CAM** (content addressible memory)

Set Asocijativno preslikavanje

- Kompromis između direktnog i asocijatovnog preslikavanja
- Keš memorija deli se na skupove od po k elemenata
- Preslikavanje na skupove direktno, preslikavanje u okviru samih skupova asocijativno

Politika upisivanja

- Upisivanje se uvek vrši u memoriju, bez obzira da li je došlo do pogotka keša (**write through**)
- Upis u RAM loš aspekt, ali podaci su konzistentni između RAM i keš memorije (osim u slučaju multiprocesorskih sistema)
- Alternativa je **write back** pristup, kada se podaci upisuju samo u keš. Upis u memoriju nije automatski. Podaci nekonzistentni, ali pristup brz.

Politika upisivanja

- Ako drugi procesori ili komponente sistema imaju pristup glavnoj memoriji (npr. DMA kontroler) u glavnoj memoriji može se promeniti podatak koji je u kešu neizmenjen. Stoga keš kontroler mora konstantno da nadgleda sve pristupe memoriji u cilju upisa, i markira odgovarajući sadržaj SRAM-a kao nekorektan (**chache invalidation**), ako se podatak u glavnoj memoriji menja.

Politika upisivanja

- Ako neki uređaj traži podatak iz RAM, a izmenjena vradnost se nalazi u kešu, onda se podatak mora prebaciti u RAM, pa tek onda do uređaja (**cache flush**).