

# 8.

## MEMORIJSKI PODSISTEM RAČUNARA

Mada je naizgled konceptualno jednostavna, računarska memorija ima možda najširi opseg vrsta, tehnologije, organizacije, performanse i cene od svih svojstava računarskog sistema. Posledica toga je da je računarski sistem opremljen hijerarhijom memorijskih podсистema, od kojih su neki unutrašnji za sistem (direktno pristupačni procesoru), a neki spoljašnji (pristupačni procesoru preko U/I modula).

### 8.1 Karakteristike memorijskih sistema

Sa tačke gledišta korisnika, dve najvažnije karakteristike memorije su kapacitet i performanse. Za unutrašnju memoriju, kapacitet se obično izražava u bajtovima ili u rečima. Uobičajene dužine reči su 8, 16 i 32 bita. Kapacitet spoljašnje memorije se tipično izražava u bajtovima:

$$C = 2^n \cdot w$$

gde je:

- $n$  – širina memorijske adrese (broj adresnih linija), a  $2^n$  je broj memorijskih lokacija,
- $w$  – kapacitet jedne memorijske lokacije (dužina reči).

Srodan koncept je jedinica prenosa. Za unutrašnju memoriju, jedinica prenosa jednaka je broju linija za podatke koje vode u memorijski modul i iz njega. Ona može da bude jednaka dužini reči, ali je češće veća, na primer 64, 128 ili 256 bitova.

- **Reč** je „prirodna” jedinica organizacije memorije. Veličina reči je tipično jednaka broju bitova koji se koriste da bi se predstavio ceo broj i dužina instrukcije.
- **Adresibilne jedinice.** U nekim sistemima, adresibilna jedinica je reč. Međutim, mnogi sistemi dozvoljavaju adresiranje na nivou bajta. U svakom slučaju, odnos između dužine adrese u bitovima  $A$  i broja adresibilnih jedinica  $N$  je  $2^A = N$ .
- **Jedinica prenosa.** Za glavnu memoriju, to je broj čitanja bitova iz memorije ili upisivanja u nju u vremenu. Jedinica prenosa ne mora da bude reč ili adresibilna

jedinica. Za spoljašnju memoriju, podaci se često prenose u jedinicama mnogo većim od reči, koje se nazivaju blokovima.

Karakteristike memorijskog podsistema sa aspekta performansi su:

- **Vreme pristupa (kašnjenje).** Za memoriju sa slučajnim pristupom, to je vreme potrebno da se izvede operacija čitanja ili upisivanja, odnosno, vreme od trenutka kada se neka adresa predstavi memoriji, do trenutka kada se podatak uskladišti ili stavi na raspolaganje za upotrebu. Za memoriju koja nema slučajan pristup, vreme pristupa je ono vreme koje je potrebno da se zauzme položaj mehanizma za čitanje-upisivanje na željenoj lokaciji.
- **Vreme ciklusa memorije.** Taj koncept se primenjuje prvenstveno na memorije sa slučajnim pristupom i sastoji se od vremena pristupa, plus svako dodatno vreme koje se zahteva pre nego što može da počne sledeći pristup. To dodatno vreme može da se zahteva za prelazna stanja na signalnim linijama, ili za obnavljanje podataka ako se oni destruktivno čitaju. Vreme ciklusa memorije je u vezi sa sistemskom magistralom, a ne sa procesorom.
- **Brzina prenosa.** To je brzina kojom podaci mogu da se prenose u memorijsku jedinicu ili iz nje. Za memoriju sa slučajnim pristupom, ona je jednaka  $1/(\text{vreme ciklusa})$ .

Za memoriju koja nije sa slučajnim pristupom, važi sledeća relacija:

$$T_N = T_A + N/R$$

gde je:

$T_N$  - srednje vreme čitanja ili upisivanja  $N$  bitova

$T_A$  - srednje vreme pristupa

$N$  - broj bitova

$R$  - brzina prenosa, u bitovima u sekundi (b/s).

Druga razlika među vrstama memorije je metoda pristupanja jedinicama podataka. Te metode uključuju sledeće:

- **Sekvencijalni pristup.** Memorija je organizovana po jedinicama podataka koje se zovu zapisi. Pristup mora da se napravi u specifičnoj linearnoj sekvenci. Zapamćena informacija za adresiranje upotrebljava se za razdvajanje zapisa i pomoć u njihovom izdvajanju. Koristi se deljeni mehanizam za čitanje/upisivanje, a on mora da se premešta sa svoje trenutne na željenu lokaciju, prolazeći i odbacujući svaki zapis koji se nalazi između. Prema tome, vreme za pristupanje nekom proizvoljnom zapisu veoma je promenljivo. Magnetne trake koriste sekvencijalni pristup.

- **Direktan pristup.** Kao kod sekvencijalnog, i kod direktnog pristupa koristi se deljeni mehanizam za čitanje/upisivanje. Međutim, pojedinačni blokovi ili zapisi imaju jedinstvenu adresu, zasnovanu na fizičkoj lokaciji. Pristup se ostvaruje direktnim pristupom da bi se postigla opšta susednost, plus sekvencijalno traženje, brojanje ili čekanje da bi se dostigla konačna lokacija. I ovde je vreme promenljivo. Magnetni i optički diskovi koriste direktan pristup.
- **Slučajan pristup.** Svaka adresibilna jedinica u memoriji ima jedinstven, fizički ožičen mehanizam za adresiranje. Vreme za pristup datoj lokaciji konstantno je i nezavisno od sekvence prethodnih pristupa. Glavna memorija i neki sistemi keš memorija koriste slučajan pristup.
- **Asocijativan pristup.** Taj pristup koristi vrsta memorije sa slučajnim pristupom koja omogućava da se porede željene lokacije bitova unutar reči, da bi se postigla podudarnost sa određenim uzorkom, i da se to uradi za sve reči istovremeno. Dakle, reč se izvlači zasnovano na delu njenog sadržaja, a ne na osnovu njene adrese. Kao i kod obične memorije sa slučajnim pristupom, svaka lokacija ima sopstveni mehanizam za adresiranje, a vreme izvlačenja je konstantno, nezavisno od lokacije ili prethodnih uzoraka pristupanja. Keš memorije mogu da koriste asocijativan pristup.

## 8.2 Memorijska hijerarhija

Konstruktivna ograničenja računarske memorije mogu da se sumiraju pomoću tri pitanja: Koliko? Koliko brzo? Koliko košta?

Pitanje „koliko” je na izvestan način stalno otvoreno. Ako postoji određeni kapacitet, verovatno će se razviti aplikacije da ga iskoriste. Na pitanje „koliko brzo” je u tom smislu lakše odgovoriti. Da bi se dostigla najveća performansa, memorija mora da bude u stanju da drži korak sa procesorom. To znači da, kada procesor izvršava instrukcije, ne bi trebalo da mu dozvolimo da zastane čekajući na nove instrukcije ili operande. Poslednje pitanje takođe mora da se razmatra. Za praktičan sistem, cena memorije mora da bude razumna u odnosu na druge komponente.

Kao što bi se moglo i očekivati, postoji kompromis između tri ključne karakteristike memorije: cene, kapaciteta i vremena pristupa. U bilo kom datom trenutku, koriste se razne tehnologije da se implementiraju memorijski sistemi. U celom tom spektru tehnologija, važe sledeći odnosi:

- kraće vreme pristupa, veća cena po bitu;
- veći kapacitet, manja cena po bitu;

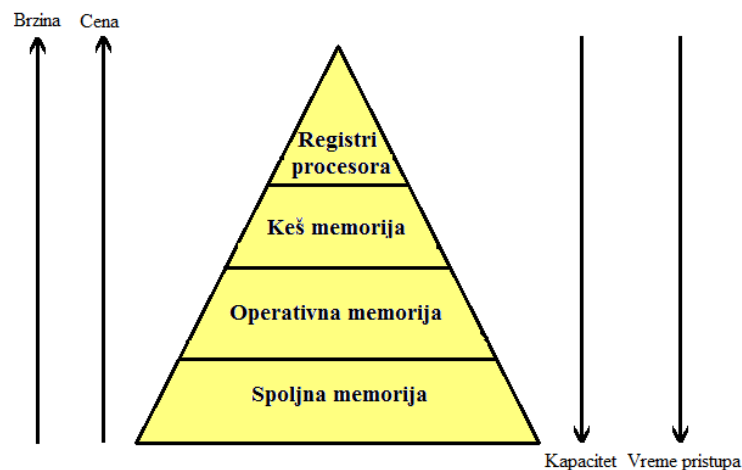
— veći kapacitet, duže vreme pristupa.

Dizajner se suočava sa jasnom dilemom. On bi voleo da koristi tehnologije koje obezbeđuju memorije velikog kapaciteta, kako zbog toga što je kapacitet potreban, tako i zato što je cena po bitu niska. Međutim, da bi ispunio zahtev performanse, projektant mora da upotrebi skupu memoriju, sa kratkim vremenom pristupa i relativno malim kapacitetom.

Način da se ta dilema razreši nije u oslanjanju samo na jednu memorijsku komponentu ili tehnologiju, nego da se upotrebi memorijska hijerarhija. Tipična hijerarhija ilustrovana je na slici 1. Kako se ide niz hijerarhiju, događa se sledeće:

- a. smanjuje se cena po bitu;
- b. povećava se kapacitet;
- c. povećava se vreme pristupa;
- d. smanjuje se učestalost pristupa memoriji od strane procesora.

Na taj način, skuplje, brže memorije dopunjavaju se većim, jeftinijim i sporijim memorijama. Ključ za uspeh te organizacije je u stavci (d): smanjivanju učestalosti pristupa.



*Slika 1. Memorijska hijerarhija*

Osnova važenja uslova (d) je u principu koji je poznat kao lokalnost reference. U toku izvršenja programa, reference memorije od strane procesora, kako za instrukcije tako i za podatke, teže da se grupišu. Programi obično sadrže jedan broj iterativnih petlji i potprograma. Jednom kada se uđe u petlju ili potprogram, ponavljaju se reference na mali skup instrukcija. Slično tome, operacije nad tabelama i nizovima obuhvataju pristup grupisanom skupu reči sa podacima. U toku dugog vremenskog perioda, grupe u upotrebi se menjaju, ali u kratkom vremenu procesor uglavnom radi sa fiksiranim grupama referenci memorije.

### 8.3 Glavna memorija

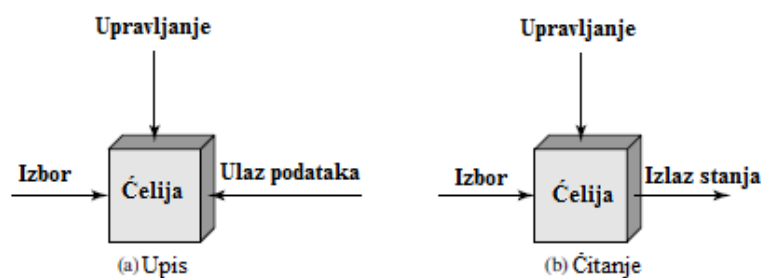
Osnovni element poluprovodničke memorije je memorijska ćelija. Mada se koriste razne elektronske tehnologije, sve poluprovodničke memorijske ćelije dele izvesne osobine:

- one imaju dva stabilna (ili polustabilna) stanja, koja mogu da se upotrebe kako bi se predstavile binarne cifre 1 i 0;
- one su sposobne da se u njih upisuje (bar jednom) kako bi uspostavile stanje;
- one su sposobne da se iz njih čita kako bi se saznalo njihovo stanje.

Na slici 2 prikazan je rad memorijske ćelije. Ćelija najčešće ima tri funkcionalna terminala koji su u stanju da nose električni signal. Terminalom za izbor, kao što mu ime nagoveštava, bira se memorijska ćelija za operaciju čitanja ili upisivanja. Upravljački terminal ukazuje na čitanje ili upisivanje. Za upisivanje, drugi terminal obezbeđuje električni signal kojim se stanje ćelije postavlja na 1 ili 0. Za čitanje, taj terminal se koristi za izlaz stanja ćelije.

#### 8.3.1 DRAM i SRAM memorija

U tabeli 1 navedene su glavne vrste poluprovodničke memorije. Najzastupljenija od njih zove se *memorija sa slučajnim pristupom*, odnosno RAM (engl. *Random-Access Memory*). To je, naravno, pogrešna upotreba termina zato što su sve vrste navedene u tabeli sa slučajnim pristupom. Jedna od karakteristika kojom se odlikuje RAM memorija je to što se podaci mogu čitati iz memorije i novi podaci u nju upisivati, na lak i brz način. I čitanje i upisivanje se postižu upotrebom električnih signala.



Slika 2. Rad memorijske ćelije

Tabela 1. Vrste poluprovodničkih memorija

Vrsta memorije	Kategorija	Brisanje	Mehanizam upisivanja	Postojanost
Memorija sa slučajnim pristupom (RAM)	Memorija za čitanje-upisivanje	Električno, na nivou bajta	Električni	Nepostojana
Memorija samo za čitanje (ROM)	Memorija samo za čitanje	Nemoguće	Maske	Trajna
Programabilna memorija samo za čitanje (PROM)			Električni	
Izbrisiva programabilna memorija samo za čitanje (EPROM)			UV svetlo, na nivou čipa	
Električno izbrisiva programabilna memorija samo za čitanje (EEPROM)	Memorija najčešće za čitanje	Električno, na nivou bajta		
Fleš memorija		Električno, na nivou bloka		

Druga posebna karakteristika RAM memorije je da je ona nepostojana. RAM memoriji mora da se obezbedi stalno napajanje električnom energijom. Ako se napajanje prekine, podaci se gube. Prema tome, RAM memorija može da se upotrebi samo kao privremeno skladište. Dva tradicionalna oblika RAM memorije koji se koriste u računarima su DRAM i SRAM memorije.

### Dinamička RAM memorija

Tehnologija RAM memorija deli se na dve tehnologije: dinamičku i statičku. Dinamička RAM memorija (DRAM) pravi se od ćelija koje skladište podatke kao naelektrisanja na kondenzatorima. Prisustvo ili odsustvo naelektrisanja na kondenzatoru interpretira se kao binarna cifra 1 ili 0. S obzirom na to da kondenzatori imaju prirodnu težnju da se prazne, dinamičke RAM memorije zahtevaju periodično osvežavanje naelektrisanja da bi se održalo skladište podataka. Termin *dinamička* odnosi se na tu težnju uskladištenih podataka da iščeznu, čak i kada je napajanje trajno uključeno.

Mada se ćelija DRAM memorije koristi za skladištenje jednog bita (0 ili 1), ona je u suštini analogni uređaj. Kondenzator može da skladišti bilo koju vrednost naelektrisanja unutar opsega; vrednost praga određuje da li se naelektrisanje interpretira kao 1 ili 0.

## **Statička RAM memorija**

Suprotno od toga, statička RAM (SRAM) memorija je digitalni uređaj, koji koristi iste logičke elemente kao što su oni koji se upotrebljavaju u procesoru. U SRAM memoriji, binarne vrednosti se skladište koristeći konfiguracije tradicionalnih flip-flop logičkih kola. Statička RAM memorija će držati svoje podatke sve dok joj se dovodi napajanje električnom energijom.