

Evolucioni period arhitekture računara oko 1980. (nastavak)

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Veliki naučno-tehnički proračuni
 - simulacije
 - vremenska prognoza - kad ima smisla?
- Cilj što više paralelnih obrada
 - *Processor Level Parallelism – PLP*
 - višeprosesorski računari
 - *Instruction Level Parallelism – ILP*
 - paralelno izvršavanje mikro programa
 - dobavljanje mašinske naredbe
 - njeno dekodiranje
 - dobavljanje njenih operanada
 - izvršavanje operacije
 - odlaganje rezultata



Cray I (1976.) 80 MHz

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Preklapanje rada - protočna struktura (engl. *pipeline*)

ciklusi	1. naredba	2. naredba	3. naredba	4. naredba	5. naredba	...
1.	dobavljanje naredbe					
2.	dekodiranje naredbe	dobavljanje naredbe				
3.	dobavljanje operanada	dekodiranje naredbe	dobavljanje naredbe			
4.	izvršavanje naredbe	dobavljanje operanada	dekodiranje naredbe	dobavljanje naredbe		
5.	odlaganje rezultata	izvršavanje naredbe	dobavljanje operanada	dekodiranje naredbe	dobavljanje naredbe	
6.		odlaganje rezultata	izvršavanje naredbe	dobavljanje operanada	dekodiranje naredbe	...
7.			odlaganje rezultata	izvršavanje naredbe	dobavljanje operanada	...
8.				odlaganje rezultata	izvršavanje naredbe	...
9.					odlaganje rezultata	...
...						...

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Preklapanje rada – protočna struktura (engl. *pipeline*)
 - Posebni deo procesora za svaki od koraka izvršavanja naredbe (engl. *stage*)
 - Puna međusobna nezavisnost stepeni
 - Naredbe različitog trajanja
 - Uticaj na arhitekturu naredbi
 - operandi aritmetičko-logičkih naredbi samo u registrima
 - x86 ...
 - dobavljanje koda naredbe i operanada
 - instruction cache
 - data cache

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Preklapanje rada - protočna struktura (engl. *pipeline*)
 - Za m naredbi bez preklapanja sa k koraka
 - $m*k*t$
 - Za m naredbi sa preklapanjem sa k koraka
 - $(k-1)*t$ - za punjenje protočne strukture
 - $(k-1)*t + m*t$ - za m izvršavanja sa preklapanjem
 - Srednje vreme izvršavanja jedne naredbe
 - $(k-1)*t/m + t$
 - za veliko m približno jednako t
 - Dugotrajnost preklapanja
 - međuzavisnost naredbi
 - uslovni skokovi

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Preklapanje rada - protočna struktura (engl. *pipeline*)
 - Duža protočna struktura – veća verovatnoća međuzavisnosti
 - Uloga kompajlera
 - Vektorske naredbe
 - niz u radnoj memoriji
 - vektorski registri
 - x86: MMX, SSE

Arhitektura računara IV generacije

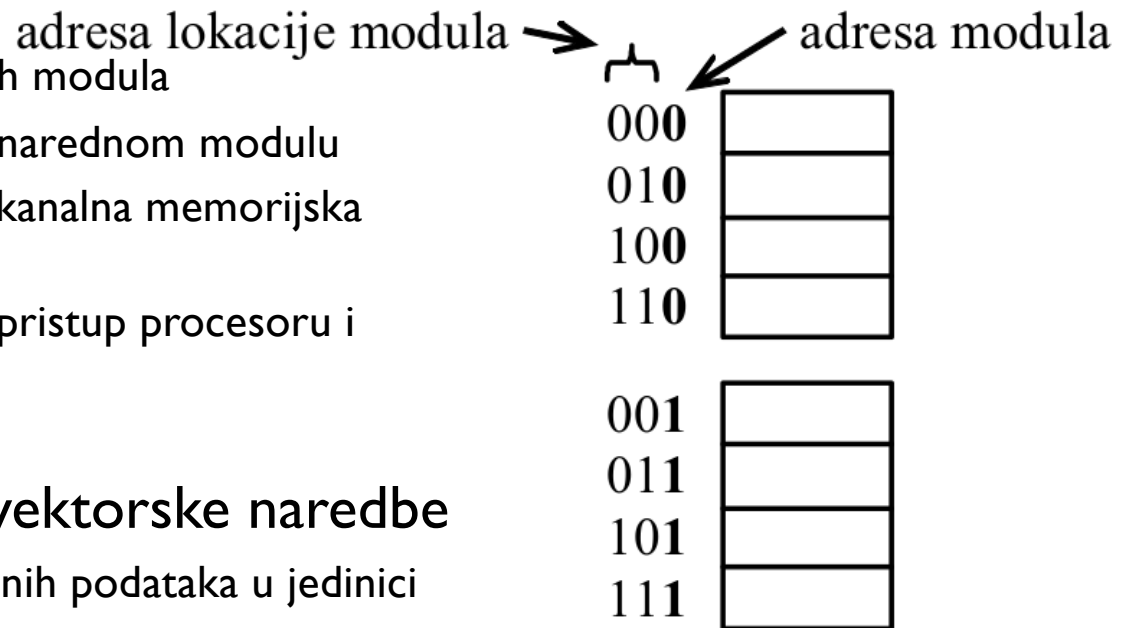
Super-računari

- Preklapanje rada – protočna struktura (engl. *pipeline*)

- Prepletana radna memorija (engl. *interleaved memory*)

- n nezavisnih memorijskih modula
- svaka naredna adresa u narednom modulu
- x86: dvo-, tro-, četvero-kanalna memorijska arhitektura
- omogućava istovremen pristup procesoru i kontrolerima
- podrška kompajlera

- Režim preklapanja + vektorske naredbe
 - mnogo veći broj obrađenih podataka u jedinici vremena



Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Impresivne performanse u periodima punog preklapanja
- Novi segment tržišta
 - Prvo preklapanje rada
 - Druga generacija, IBM 7030
 - Prve vektorske naredbe
 - Treća generacija, CDC STAR-100 (SString ARray)



Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- Adresni prostor od 32 bita (4 GB), po bajtima
- Virtuelna memorija
- Rad sa:
 - 1, 2, 4, 8 ili 16-bajtnim celim vrednostima
 - 4, 8 ili 16-bajtnim realnim vrednostima
 - binarno kodiranim decimalnim ciframa (engl. *packed decimal*)
 - nizovima znakova (engl. *string*)
 - nizovima brojeva
- Registri
 - 16 od po 32 bita (opšte namene)
 - pokazivač steka, pokazivač frejma, programski brojač
 - status registar (uslovni biti)

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- Privilegovani režim rada
 - 3 nivoa – *kernel mode*, *executive mode*, *supervisor mode*
- Vrste adresiranja
 - Registarsko adresiranje
 - Posredno adresiranje sa samouvećanjem
 - Posredno adresiranje sa samoumanjenjem
 - 4 vrste indeksnog adresiranja
 - Posredno adresiranje
 - Dvostruko posredno adresiranje sa samouvećanjem
 - 3 vrste indeksnog posrednog adresiranja
 - 4 adresiranja za male konstante (engl. *literal addressing mode*)
 - skalarni indeks – niz + indeks*veličina_elementa

Arhitektura računara IV generacije

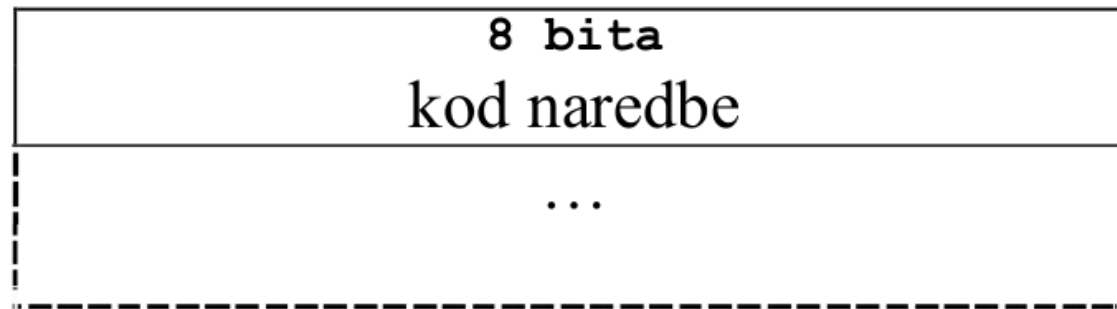
Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- Vrste adresiranja:
 - neposredno adresiranje – kombinovanje programskog brojača sa posrednim adresiranjem sa samouvećanjem
 - apsolutno adresiranje – kombinovanje programskog brojača sa dvostruko posrednim adresiranjem sa samouvećanjem odgovara
 - relativno adresiranje – kombinovanje programskog brojača sa indeksnim adresiranjem
 - relativno posredno adresiranje – kombinovanje programskog brojača sa indeksnim posrednim adresiranjem

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- Mašinski format naredbe



- Bajt sa kodom naredbe
- Opcioni bajt sa dodatnim kodom naredbe
- Bajti za operande (od 0 do 6 operanada)
 - Potpuna ortogonalnost
- Adresiranja se kodiraju slično kao kod PDPI I, samo što su kodovi operanada i registara sada po 4 bita

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- Naredbe za rukovanje podacima (npr. za prenos i konverziju podataka)
- Naredbe za rukovanje bitima (logičke naredbe i naredbe pomeranja)
- Naredbe za celobrojnu binarnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Naredbe za celobrojnu decimalnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije),
- Naredbe za aritmetiku realnih brojeva (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Upravljačke naredbe
- Systemske naredbe

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 8086

- Adresni prostor od 20 bita (1 MB), po bajtima
 - Raspoloživ u do 4 segmenta sa 16-bitnim adresama
 - **code segment, stack segment, data segment, extra segment**
 - adresa = skalirana bazna adresa (sa 4 bita) + unutrašnja adresa
- Rad sa:
 - 1 ili 2-bajtnim celim vrednostima
 - binarno kodiranim decimalnim ciframa (engl. *packed decimal*)
 - nizovima znakova (engl. *string*)

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 8086

- Registri – 16-bitni:
 - 4 segmentna
 - 4 opšte namene – AX (AL, AH), BX, CX, DX
 - rad sa stekom – SP i BP
 - rad sa indeksima – SI i DI
 - programski brojač – IP
 - status registar – FLAGS (uslovni biti)
- Neortogonalan skup naredbi:
 - množenje, deljenje i U/I – AX i DX
 - nizovi – CX

Arhitektura računara IV generacije

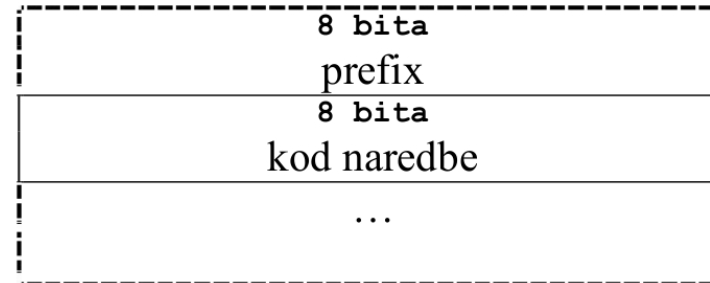
Arhitektura naredbi Intel 8086

- Vrste adresiranja:
 - **neposredno** adresiranje
 - **registarsko** adresiranje
 - **direktno** adresiranje
 - **posredno** adresiranje (pomoću registara BX, BP, SI i DI)
 - **3 vrste indeksnog** adresiranja
 - *indexed* – adresiranje koristi registre SI i DI
 - *base* – adresiranje koristi registre BX i BP
 - *based indexed* – adresiranje obuhvata parove registara, sastavljene od BX ili BP registara i od SI ili DI registara

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 8086

- Mašinski format naredbe
- Opcioni prefiks
- Kod naredbe
- Vrste naredbi se podrazumevano odnose na neki segment
- Do 4 dodatna bajta
 - 16-bitna unutrašnja adresa i 16-bitna bazna adresa
 - oznake dva registra (jedan je za posredno adresiranje) i eventualno odstojanje od 8 ili 16 bita (engl. *displacement*)
 - neposredni operand od 8 ili 16 bita
 - relativna adresa od 8 bita



Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 8086

- Naredbe za rukovanje podacima (npr. za prenos i konverziju podataka)
- Naredbe za rukovanje bitima (logičke naredbe i naredbe pomeranja)
- Naredbe za celobrojnu binarnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Naredbe za celobrojnu decimalnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Upravljačke naredbe
- Systemske naredbe
- Ulazno-izlazne naredbe

Arhitektura računara IV generacije

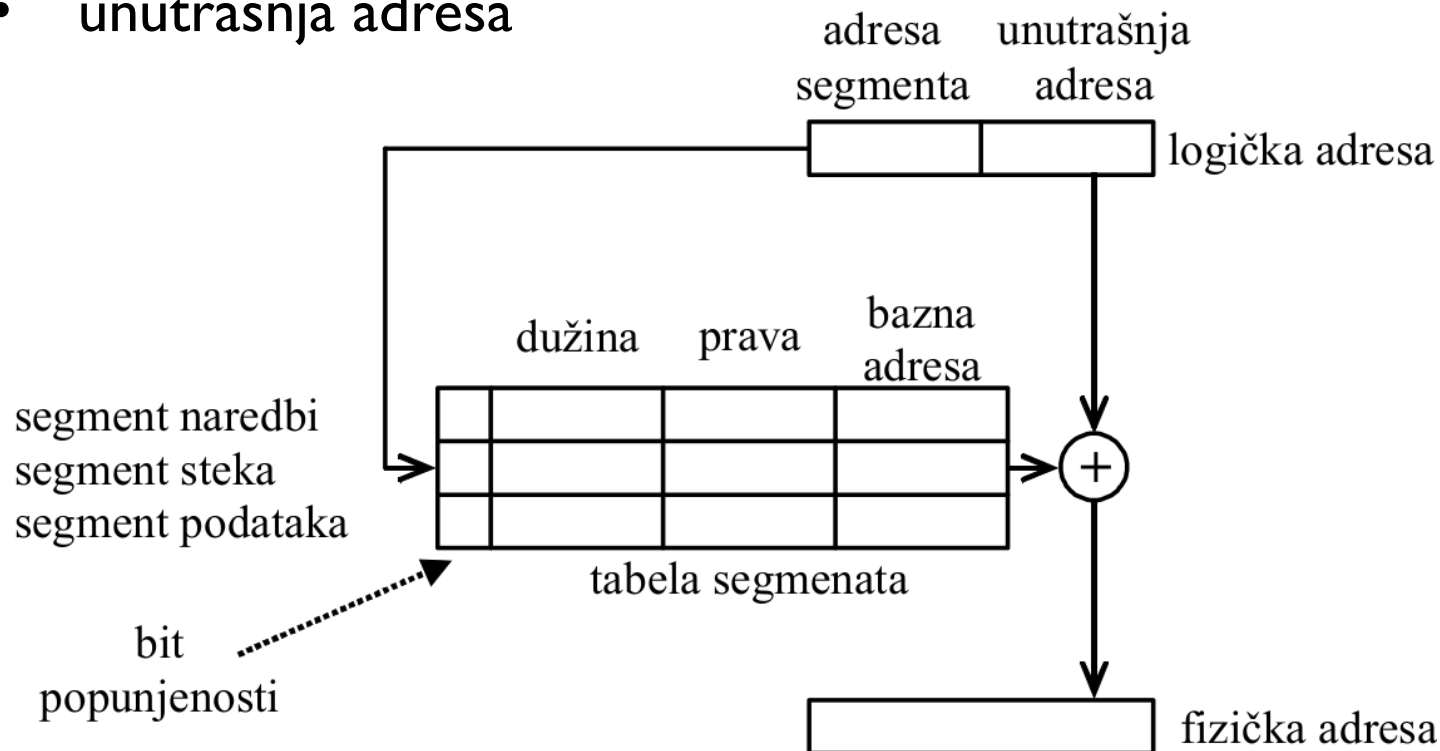
Segmentna organizacija radne memorije

- Uvedena radi racionalnog korišćenja RAM-a
 - kasnije postala ograničenje
- Segment naredbi može da deli više procesa
- Neophodna zaštita segmenata
 - bazni/granični registar
 - prava pristupa (čitanje, pisanje, izvršavanje)
- Tabela segmenata za svaki proces
 - bazna adresa, dužina, prava pristupa, popunjenost

Arhitektura računara IV generacije

Segmentna organizacija radne memorije

- Logička adresa
 - adresa segmenta – adresira tabelu segmenata
 - unutrašnja adresa



Arhitektura računara IV generacije

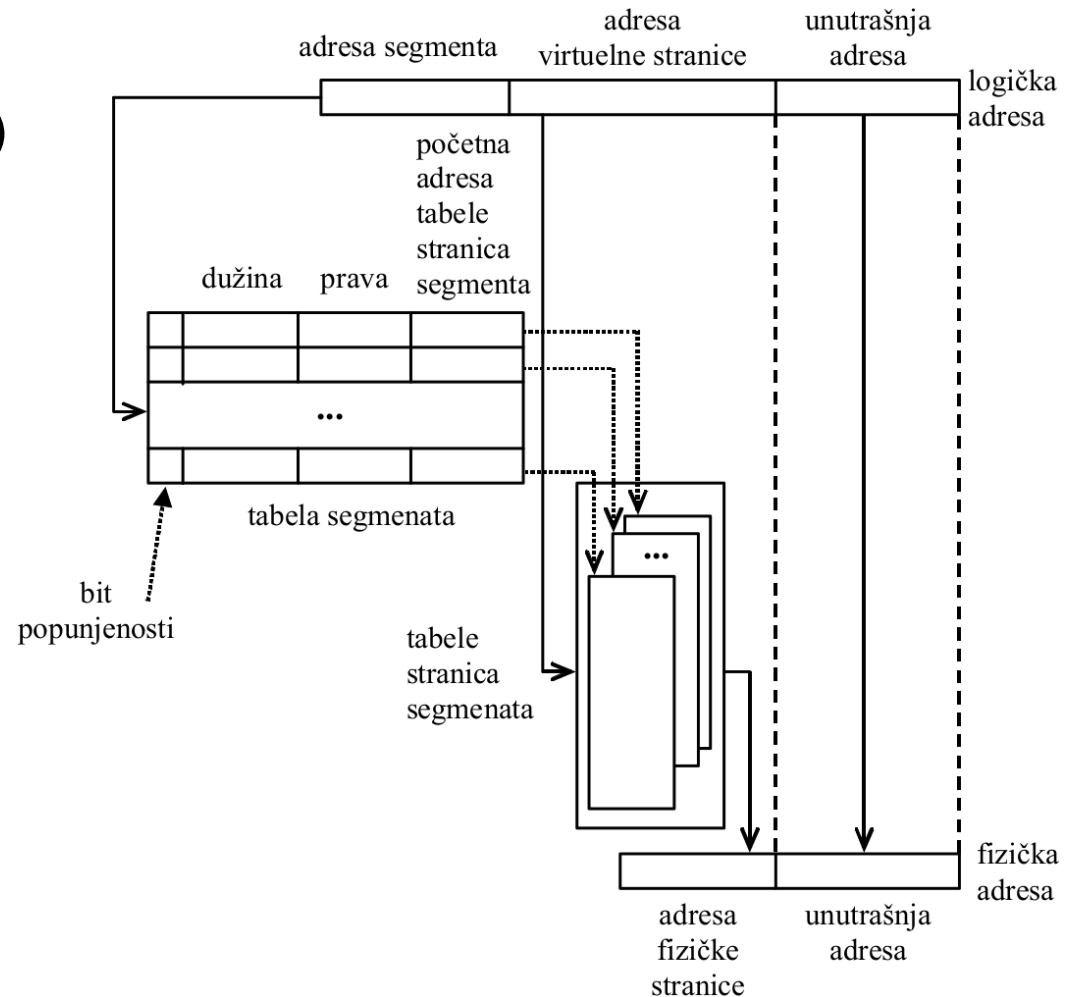
Segmentna organizacija radne memorije

- Osnovna segmentacija
- Puna segmentacija
 - Veći broj segmenata
 - Poseban segment za svaku biblioteku
 - Poseban segment za grupe promenljivih
 - Deljena biblioteka (engl. *shared library*)
 - Ne linkuje se, samo se upisuje da je potrebna
 - Dinamičko linkovanje (engl. *dynamic linking*)
 - Dinamički linkovane biblioteke ili DLL (engl. *dynamic link library*)
 - Kombinovanje segmentacije i virtuelne memorije

Arhitektura računara IV generacije

Segmentna organizacija radne memorije

- Stranična segmentacija (engl. *paged segmentation*)
 - veći segmenti, izdeljeni na stranice



Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 80386

- Adresni prostor od 24 bita (16 MB), po bajtima
 - Raspoloživ u do 16383 segmenata sa 20-bitnim lokalnim adresnim prostorima
 - Istovremeno samo 6 segmenata
 - CS, SS, DS, ES, FS, GS - adresiraju tabelu segmenata radi pretvaranja logičke u 32-bitnu fizičku ili virtuelnu adresu
- Pored obične segmentacije, podržana virtuelna memorija (tabela stranica u 2 nivoa) i stranična segmentacija
- Rad sa:
 - 1,2 ili 4-bajtnim celim vrednostima
 - binarno kodiranim decimalnim ciframa (engl. *packed decimal*)
 - nizovima znakova (engl. *string*)

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 80386

- Registri - 16-bitni iz 8086/80286 plus:
 - 2 segmentna – FS i GS
 - 4 32-bitna opšte namene – EAX, EBX, ECX, EDX
 - 32-bitni rad sa stekom – ESP i EBP
 - 32-bitni rad sa indeksima – ESI i EDI
 - 32-bitni programski brojač – EIP
 - 32-bitni status registar – EFLAGS (uslovni biti)
- Neortogonalan skup naredbi
 - Malo ublaženo u odnosu na 8086 – opšti format adresiranja
- Privilegovani režim rada
 - 3 nivoa - *kernel, system services, custom extensions*

Arhitektura računara IV generacije

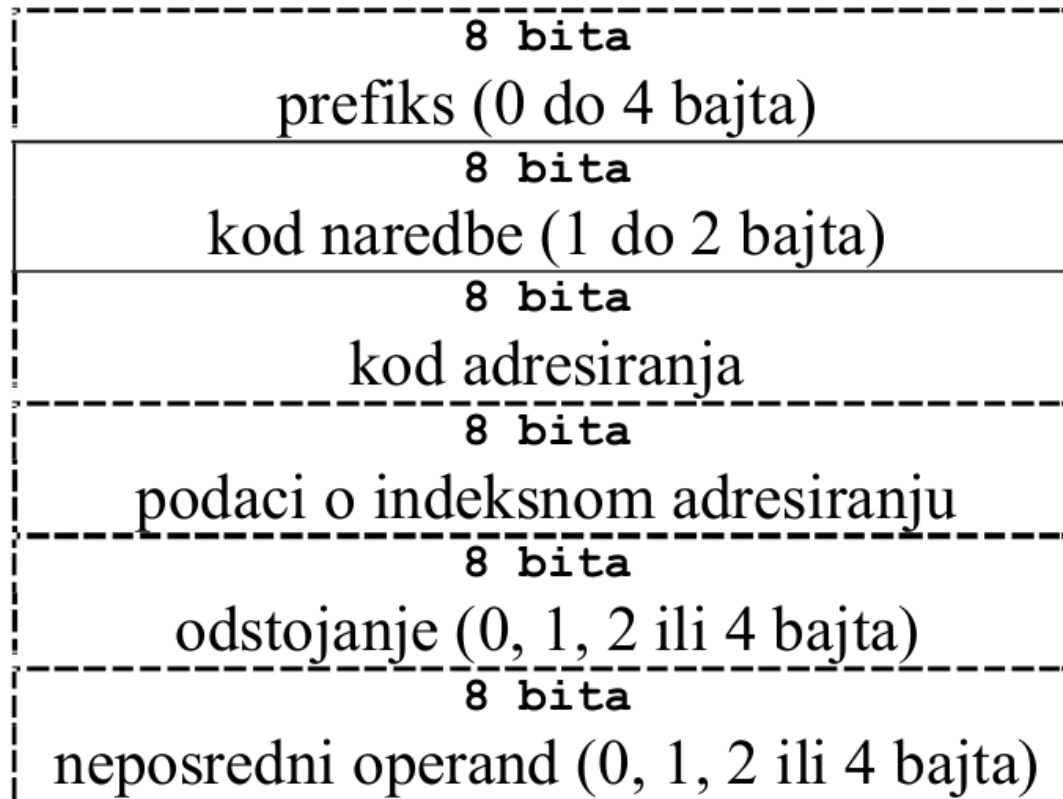
Arhitektura naredbi Intel 80386

- Vrste adresiranja
 - **neposredno** adresiranje
 - **registarsko** adresiranje
 - **direktno** adresiranje
 - **posredno** adresiranje (pomoću registara BX, BP, SI i DI)
 - **3 vrste indeksnog** adresiranja
 - sa i bez skaliranja
 - podrška za **multiprogramiranje/multitasking**
 - podrška za **debugiranje**
 - emulacija 8086

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 80386

- Mašinski format naredbe



Arhitektura računara IV generacije

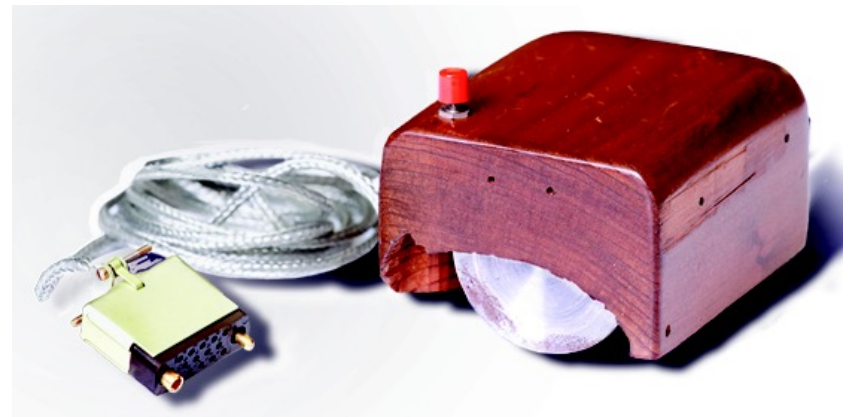
Arhitektura naredbi Intel 80386

- Naredbe za rukovanje podacima (npr. za prenos i konverziju podataka)
- Naredbe za rukovanje bitima (logičke naredbe i naredbe pomeranja)
- Naredbe za celobrojnu binarnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Naredbe za celobrojnu decimalnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Upravljačke naredbe
- Systemske naredbe
- Ulazno-izlazne naredbe

Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

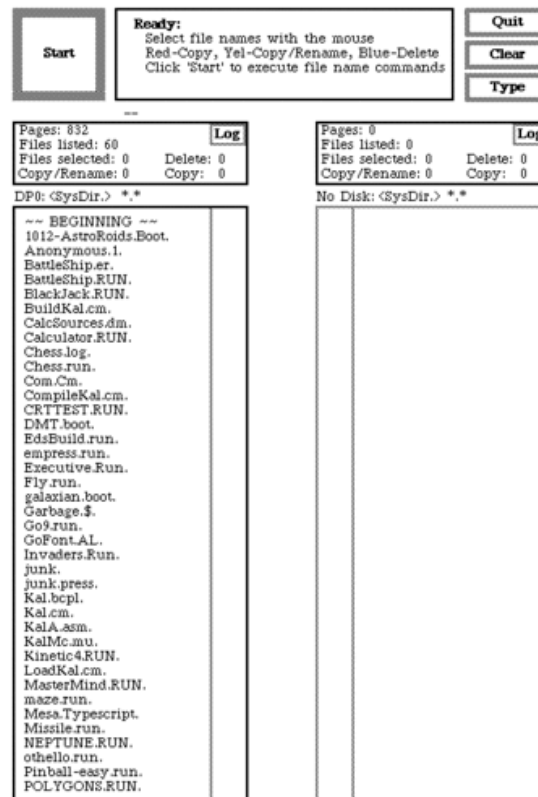
- Pomeranje po x/y osi pomoću davača pozicije
 - mehanički
 - elektronski
- Podaci o:
 - relativnoj promeni pozicije
 - pritisnutim tasterima
- Trackball
- 1941. – radarski sistem za navođenje
- 1965-1968. – Telefunken Rollkugel (za Telefunken mainframe TR 440)
- "The Mother of All Demos" – prezentacija na ACM kongresu, Douglas Engelbart 1968. "oN-Line System" – NLS



Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

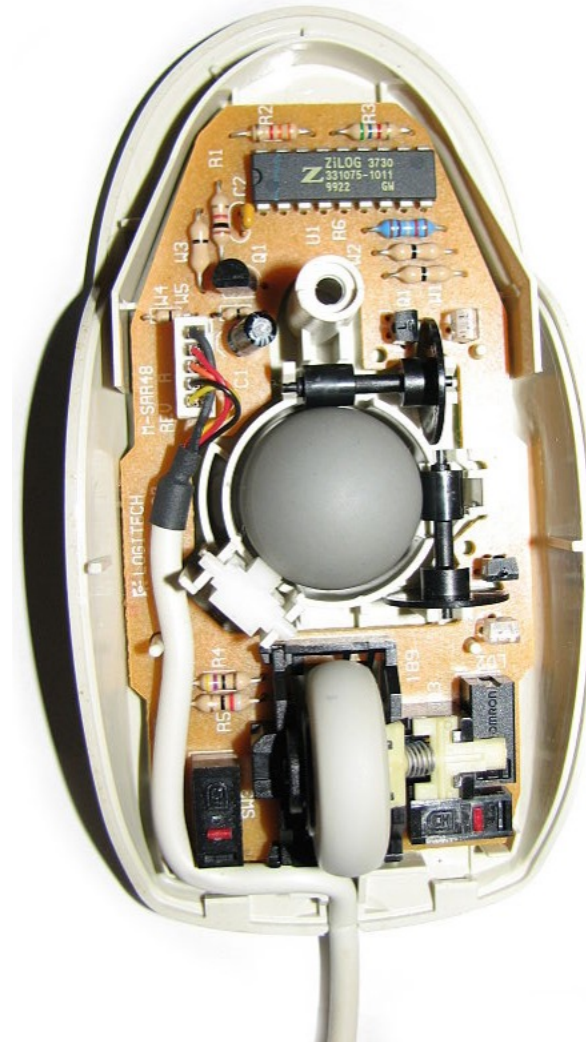
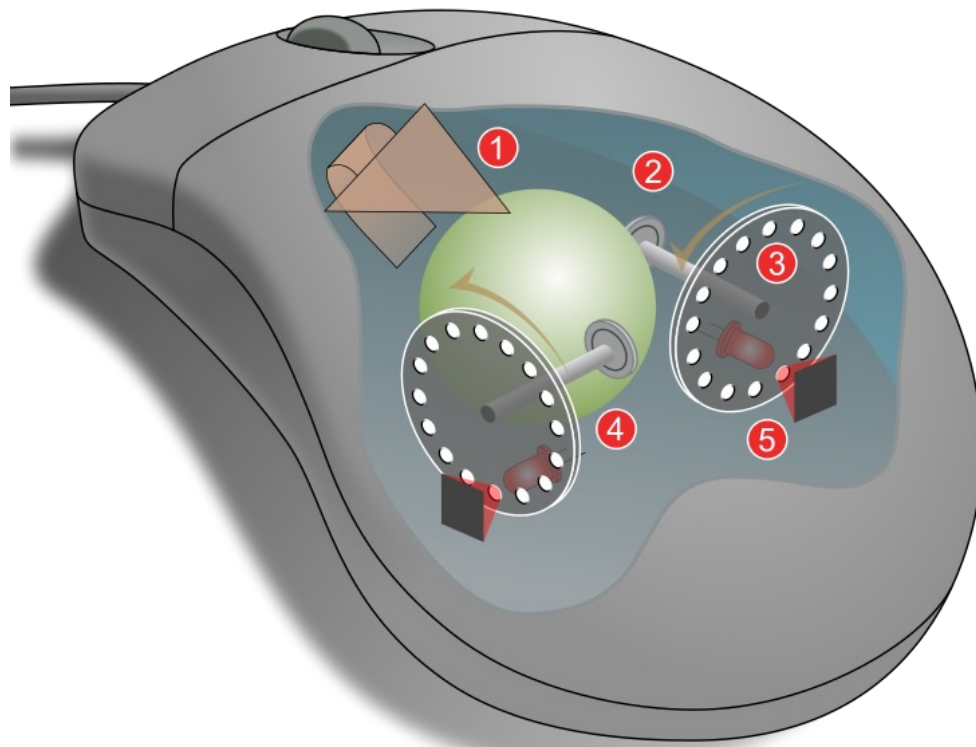
1973. – Xerox Alto



Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

- Mehanički miš



Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

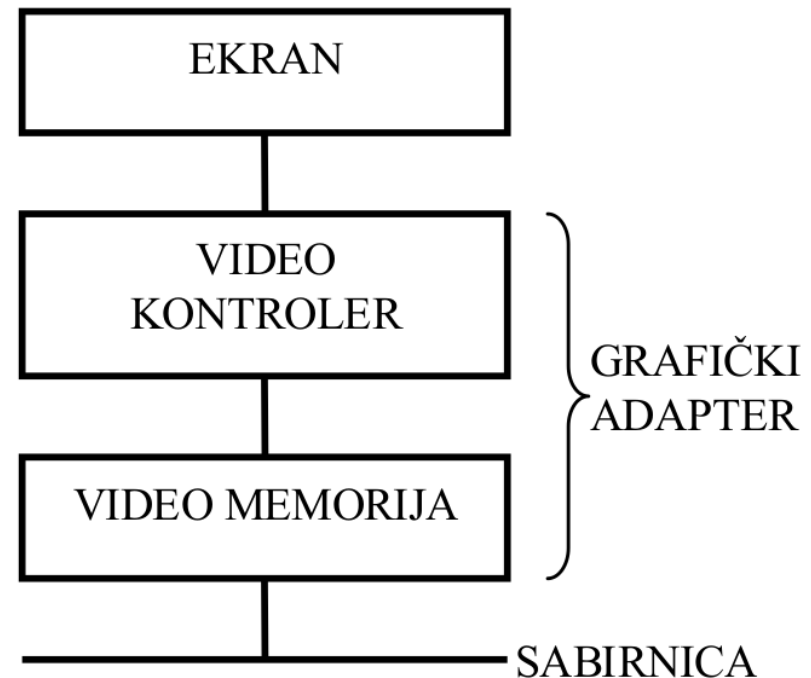
- **Optički/laserski miš**
 - Prvi se pojavili 1980.
 - posebna podloga
 - LED + senzor pokreta (obično kamera niske rezolucije)
 - poređenje slike u dva bliska trenutka
 - više hiljada puta u sekundi
 - Laserski miš – poluprovodnički laser umesto LED, veća rezolucija kamere
 - Bolje praćenje površine ispod kamere

Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- **Grafički adapter**

- Video memorija
 - broj piksela/rezolucija
 - dual port memory
 - page flipping
- Video kontroler
 - monohromatski
 - nijanse jedne boje
 - kolor
- Smanjenje broja bita po pikselu
 - paleta X od Y mogućih boja
 - tabela boja

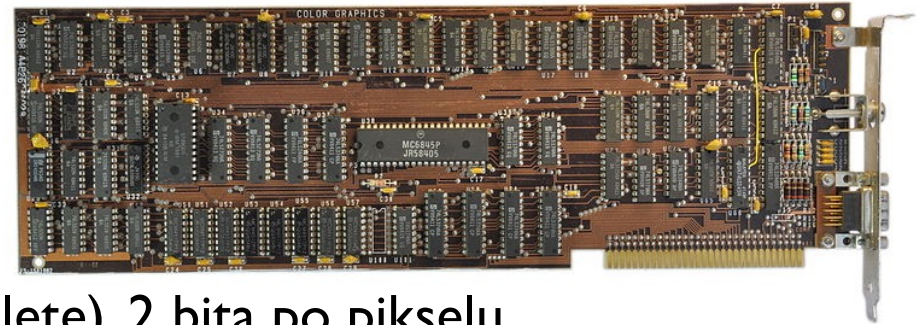


Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

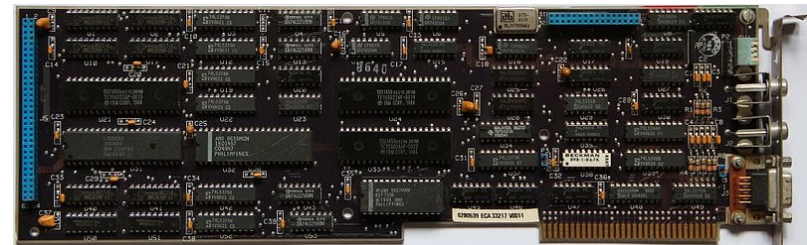
- 1981. – **CGA**

- 16 kB memorije
- 16 boja
- 320 x 200 u 4 boje (fiksne palete), 2 bita po pikselu
- 640 x 200 u 2 boje, 1 bit po pikselu
- 40 x 25, odnosno 80 x 25 karaktera
- RGBI izlaz



- 1984. – **EGA**

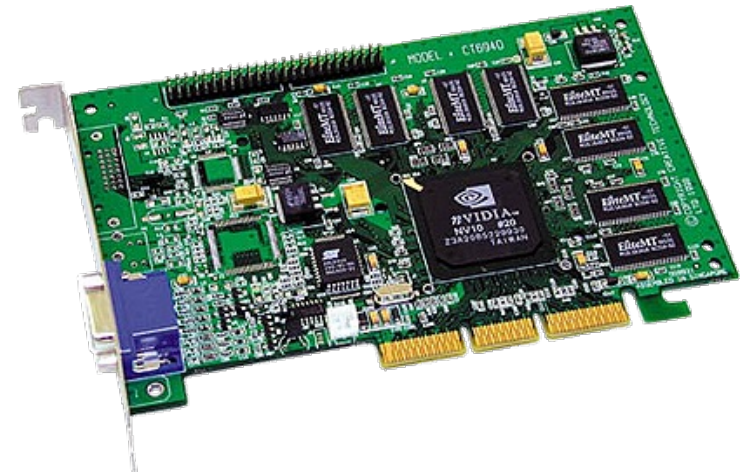
- 64 kB memorije
- 16 od 64 boje (indeksirana paleta)
- do 640 x 350 u 16 boja (zahteva dodatak još 64KB)



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- 1987. – **VGA**
 - 256 kB memorije
 - 16 ili 256 boja iz palete od 262144
 - maksimalna rezolucija 640 x 480
- 1989. – **SVGA**
 - 800 x 600, 1024 x 768
 - true color
- 1996. – 3dfx Voodoo grafički čip
- 1999. – prvi **GPU** (engl. *Graphics Processing Unit*) – Nvidia GeForce 256



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- **Kućni računari**
 - mala količina memorije
 - **ZX Spectrum**
 - 256 x 192, 15 boja
 - max 2 boje za jednu 8 x 8 matricu, atributi 32 x 24
 - colour-clash
 - 6 kB - pikseli
 - 768 bajta - atributi



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- **Kućni računari**
 - **Commodore 64**
 - 320 x 200, 16 boja
 - max 2 boje za jednu 8 x 8 matricu, atributi 40 x 25
 - 160 x 200
 - max 4 boje za jednu 4 x 8 matricu, atributi 20 x 25
 - 7.8 kB - pikseli
 - 1000 bajta - atributi
 - sprajtovi



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- **Kućni računari**
 - **Amiga 500**
 - 320 x 200, 640 x 200, 4096 boja
 - max 16/64/4096 boja odjednom
 - HAM – Hold And Modify
 - prepolovljena količina memorije za svih 4096 boja



Arhitektura računara IV generacije

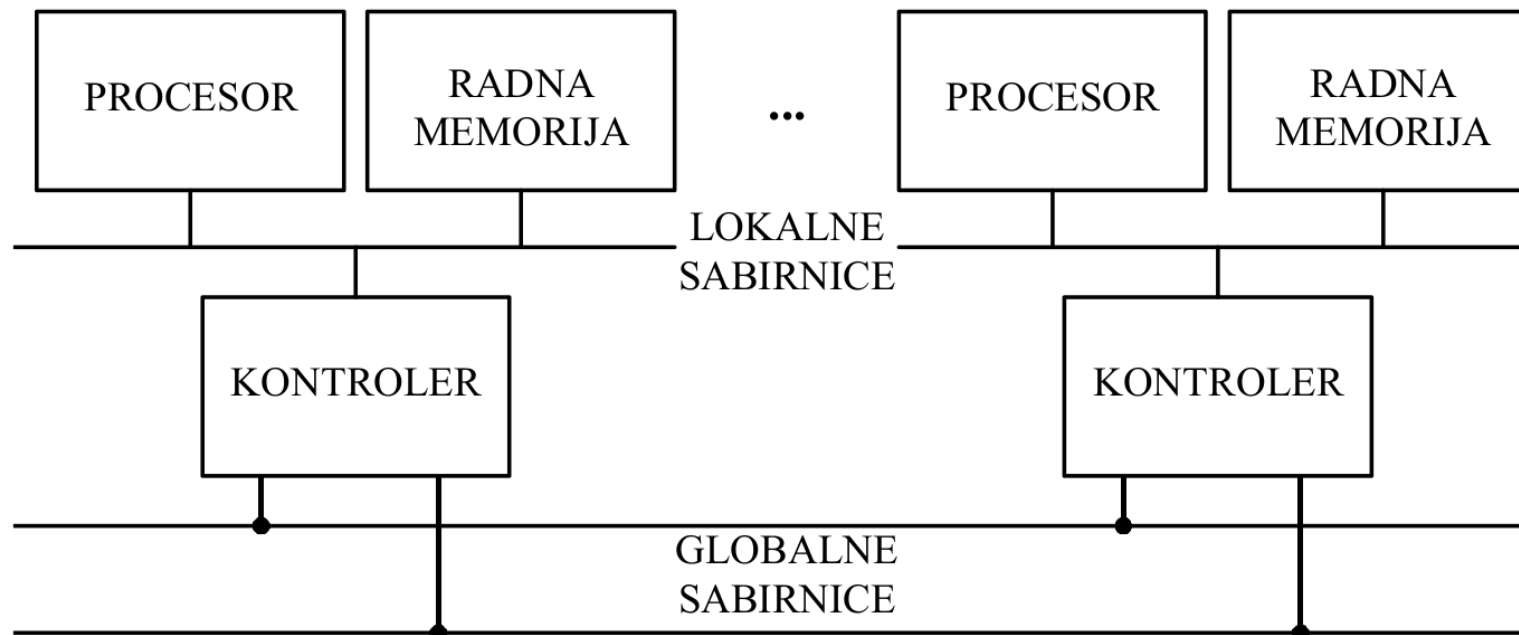
Principi rada lokalnih mreža

- Osnovna namena prenos poruka
- Komunikacioni protokoli
 - kako se poruka rastavlja na pakete
- Dve najpoznatije vrste:
 - **Token ring**
 - poseban paket sa žetonom određuje ko može da šalje
 - slabo iskorišćene za mala opterećenja
 - **Ethernet**
 - slanje čim se ustanovi da nema emisije na linijama
 - konstantno praćenje linija u toku slanja
 - kolizija i njeno razrešenje
 - dužina do 1 km
 - problemi ako je veliko opterećenje (preko 50%)

Arhitektura računara IV generacije

Višeprocesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

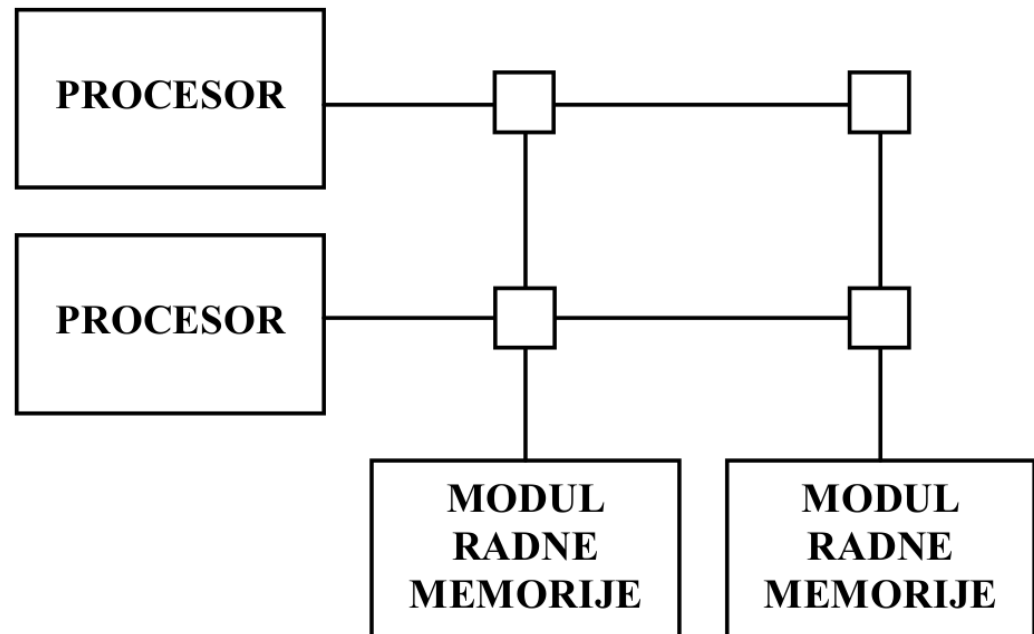
- Arbitar sabirnice dozvoljava više aktivnih strana
 - zbog zagušenja, mali broj procesora
- Više sabirnica
 - duža razmena podataka između pojedinih celina



Arhitektura računara IV generacije

Višeprosesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

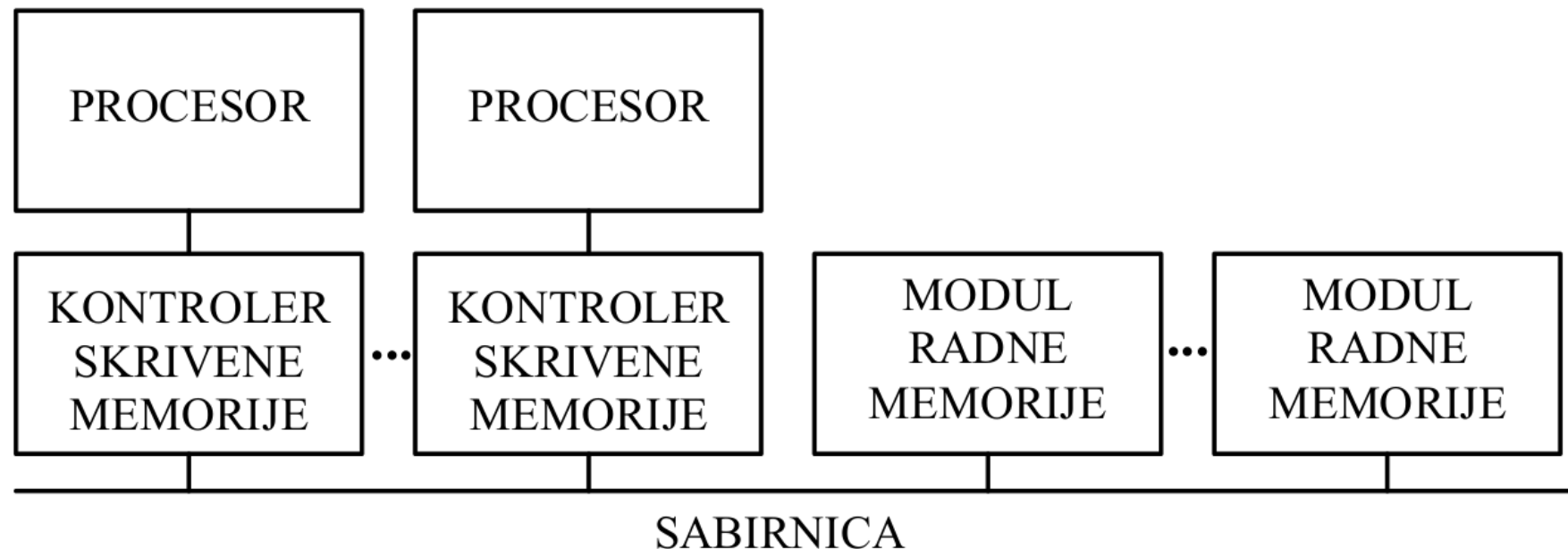
- Unakrsna matrica (engl. *crossbar*)
 - Dinamičko uspostavljanje direktnih veza
 - Za veliki broj prekidača:
 - visoka cena
 - veliko kašnjenje
 - mala pouzdanost
 - Prvi put kod računara 3. generacije



Arhitektura računara IV generacije

Višeprosesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

- Upotreba skrivene memorije
 - Smanjuje zagušenje kada je jedna sabirnica
 - Usaglašenost sadržaja (engl. *cache coherency*)



Arhitektura računara IV generacije

Višeprosesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

- Razrešenje neusaglašenosti skrivene memorije
 - Praćenje aktivnosti na sabirnici (engl. *snoop*)
 - poništavanje (engl. *write invalidate*)
 - izmena (engl. *write broadcast*)
- Zauzimanje deljenih resursa
 - Posebna upravljačka linija za zaključavanje sabirnice (engl. *lock*)
 - eksplicitno - posebnom naredbom za zaključavanje
 - implicitno - u okviru naredbe tipa *read-modify-write*
- Šta ako resurs nije raspoloživ?
 - odnos vremena preključivanja i vremena zauzetosti
 - ponavljanje provere (engl. *spinning*, *spin lock*, *spin waiting*)
 - preključivanje

Evolucioni period arhitekture računara oko 1990.

Arhitektura računara IV generacije

Tehnologija veoma visoke integracije (engl. *VLSI – Very Large Scale Integration*)

- Još moćniji super-računari, Cray Y-MP
- Veliki računari dobili vektorske naredbe, IBM ESA/370
- Mini-računari se približili velikim, DEC VAX 8800
- Mikro-računari dobili neke mogućnosti velikih i mini-računara (FPU), Intel 80486/Motorola 68040
- Cene se i dalje razlikuju za po red veličine:
 - veliki računari – poslovna primena, veliki broj terminala
 - mikro-računari – lična upotreba
 - mini-računari
 - super računari – proračuni i simulacije

Arhitektura računara IV generacije

RISC (engl. *Reduced Instruction Set Computer*) **arhitektura**

- VLSI omogućuje veoma komplikovano mikro-programiranje, veoma širok skup naredbi
- Više stotina naredbi
- Veliki broj adresiranja
- Moguće znatno skraćenje procesorskih ciklusa, pod uslovom da se koristi ožičena (engl. *hardwired*) upravljačka jedinica
- Uloga super-računara

Arhitektura računara IV generacije

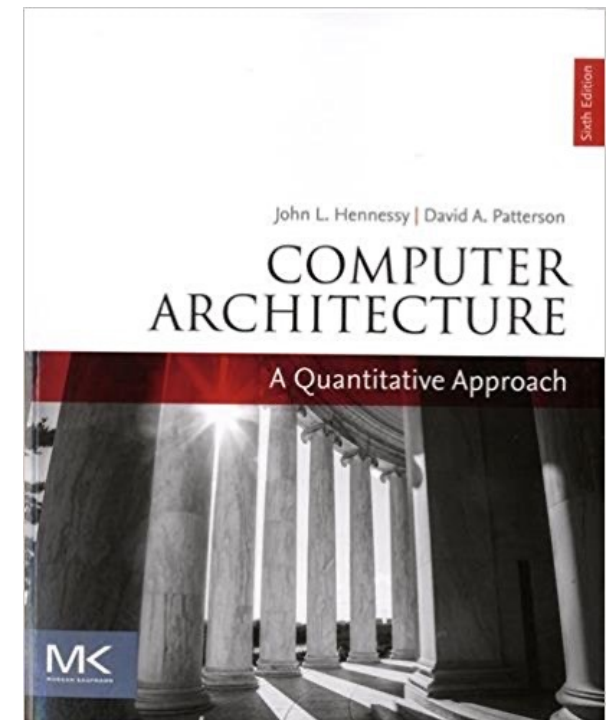
RISC arhitektura

- Pojednostavljene CISC → RISC
- Manje naredbi, adresiranja i tipova podataka
- Učitaj/sačuvaj (engl. *load/store*) arhitektura
- Brže izvršavanje
- Duže preklapanje
- Skraćen procesorski ciklus
- Broj ciklusa po naredbi sa 5-10 na 1-2

Arhitektura računara IV generacije

RISC arhitektura

- Istraživanja:
 - IBM 801 projekat, IBM, krajem sedamdesetih, John Cocke
 - RISC-I i RISC-II procesori, Berkli, početkom osamdesetih, David A. Patterson
 - MIPS procesor, Stanford, početkom osamdesetih, John L. Hennessy
 - Hennessy i Patterson – Turing-ova nagrada 2017. za RISC arhitekturu
- Pojava:
 - Motorola 88000
 - Intel i860
 - IBM RS/6000
 - DEC ALPHA



Arhitektura računara IV generacije

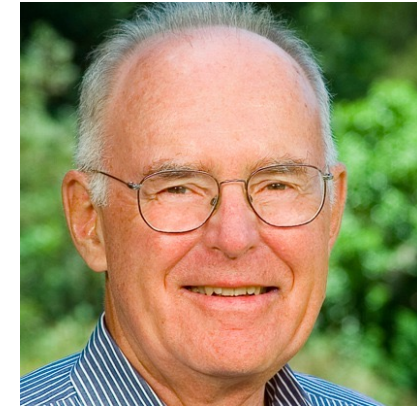
Rast brzine i gustine tranzistora na čipu

- Smanjenje tranzistora povećava brzinu
- Više tranzistora
- Veća disipacija toplote
- Brži tranzistori ➡ manje kašnjenje signala ➡ kraći ciklus
- Manji tranzistori ➡ kraći put signala ➡ kraći ciklus
- Manji čip, veći vafer ➡ manja cena po komadu

Arhitektura računara IV generacije

Rast brzine i gustine tranzistora na čipu

- Maksimalna brzina signala – c
 - Ciklus ima minimalnu vrednost
 - Veličina, prečnik računara (engl. *diameter*)
 - Polovina puta kojeg signali pređu u ciklusu
 - CPU → RAM → CPU
 - 1995, DEC ALPHA 21164, ciklus 3.33 ns → 1 m
- **Murov zakon** (Gordon Moore, Intel)
 - Brzina i broj tranzistora na CPU – 60% godišnje
 - Broj DRAM tranzistora – 120% godišnje, brzina – 3%
 - Uočeno sredinom šezdesetih
 - Problem hlađenja i kvantni efekti



Gordon Moore
(1929–2023)

Arhitektura računara IV generacije

Dometi primene paralelizma

- Rešenje problema fizičkih ograničenja?
- Primer: analiza satelitske slike
 - 10^{10} piksela, prijem i obrada
 - 10^3 operacija po pikselu
 - Konstantan tok podataka, stotine slika dnevno
 - Ukupno oko 10^{15} operacija, 10^{10} u sekundi
 - Trebao bi procesorski ciklus od 10^{-10} sekundi \Rightarrow prečnik 1.5cm
 - Serijski prenos – nema paralelizma
 - Obrada – može!

Arhitektura računara IV generacije

Dometi primene paralelizma

- Serijska obrada:
 - s -ti deo od t je prijem (serijski)
 - vreme prijema $s \cdot t$
 - $(1-s)$ -ti deo je serijska obrada
 - vreme serijske obrade $(1-s) \cdot t$
- Paralelna obrada n piksela:
 - vreme paralelne obrade $(1-s) \cdot t / n$
 - ukupno vreme paralelne analize: $s \cdot t + \frac{1-s}{n} \cdot t$

- Odnos serijske i paralelne obrade:

$$\frac{t}{s \cdot t + \frac{1-s}{n} \cdot t} = \frac{1}{s + \frac{1-s}{n}} = \frac{1}{\frac{s \cdot n + 1 - s}{n}} = \frac{n}{1 + s \cdot (n-1)}$$

Arhitektura računara IV generacije

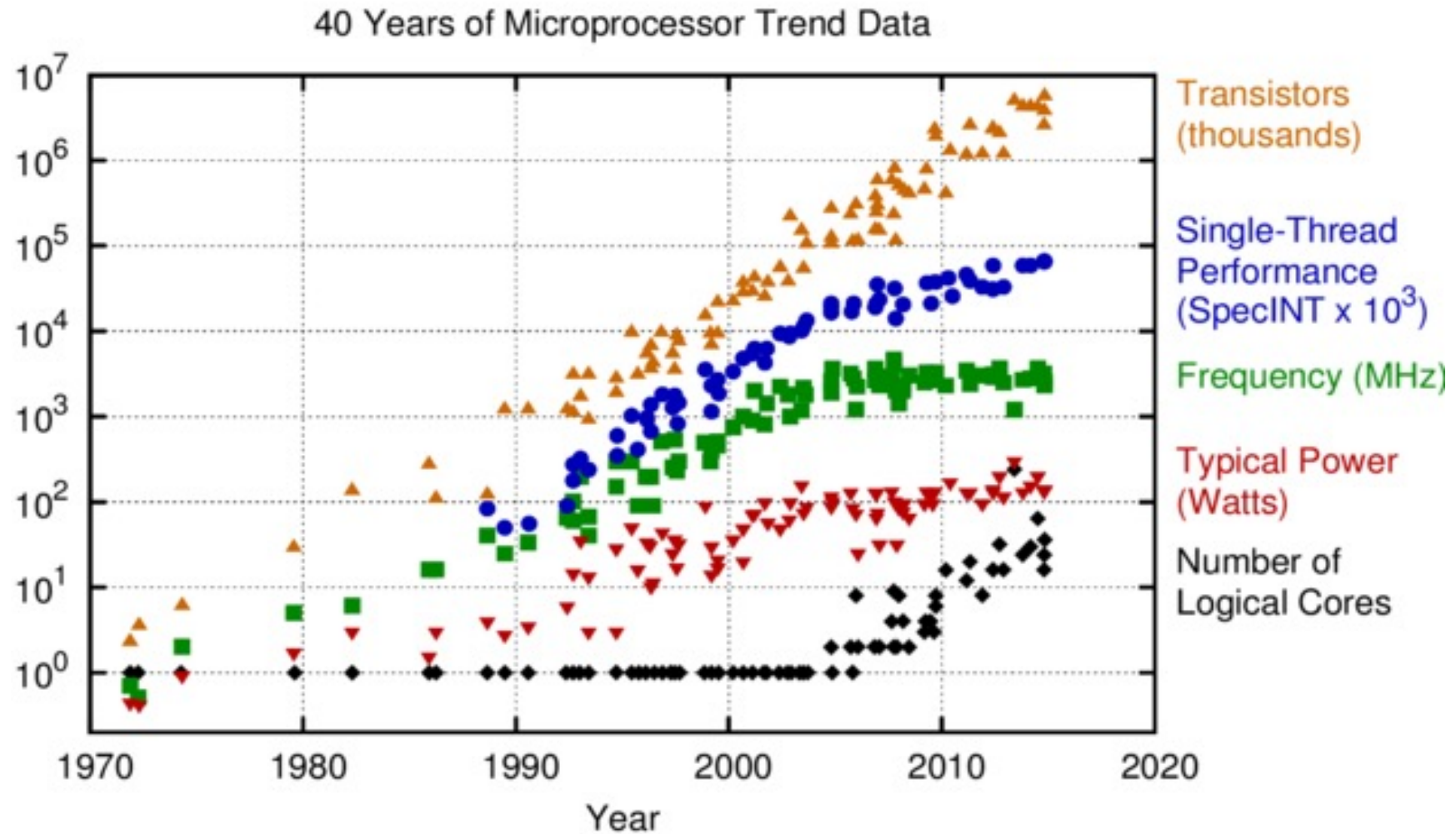
Dometi primene paralelizma

- Odnos serijske i paralelne obrade:
 - za veliko $n \rightarrow I/s$
 - **Amdalov zakon** (G. M. Amdahl, 1967)
- Ima smisla ako je
 - kratak sekvencijalni deo
 - visok stepen paralelizma
- Obrada satelitskih slika
 - obrada svakog piksela može biti nezavisna
 - identične obrade svih piksela
 - (relativno) jednostavna obrada
 - paralelni računar sa $> 10k$ jednostavnih jednobitnih procesora (procesnih elemenata), ciklus 10^{-6}



Gene Amdahl
(1922–2015)

Arhitektura računara IV generacije



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2015 by K. Rupp

Arhitektura računara IV generacije

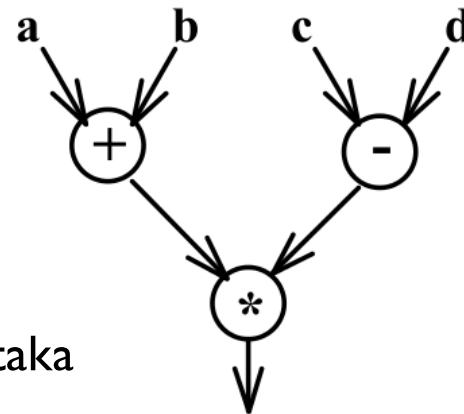
Konkurentno programiranje

- Nepodesni programski jezici visokog nivoa
- Apstrakcija sekvencijalnog računara
- Bitan redosled izvršavanja
- Model računanja (engl. *computational model*) je **model upravljačkog toka** (engl. *control flow model, control driven model*)
 - redosled određuju upravljačke naredbe
- Uočavanje delova koji bi se mogli paralelizovati i prepravka programa
- Izričito opisivanje paralelizma
- Ekstenzije jezika visokog nivoa

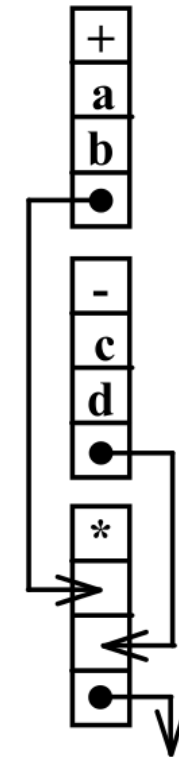
Arhitektura računara IV generacije

Konkurentno programiranje

- Konkurentni programski jezici
 - složenije korišćenje
- **Model toka podataka**
(engl. *data flow model*,
data driven model)
 - redosled određuju obrade podataka
 - posmatra ulaze i izlaze operacija
 - usmereni graf sa okvirima



usmereni graf izraza
 $(a+b)*(c-d)$



usmereni graf okvira izraza
 $(a+b)*(c-d)$

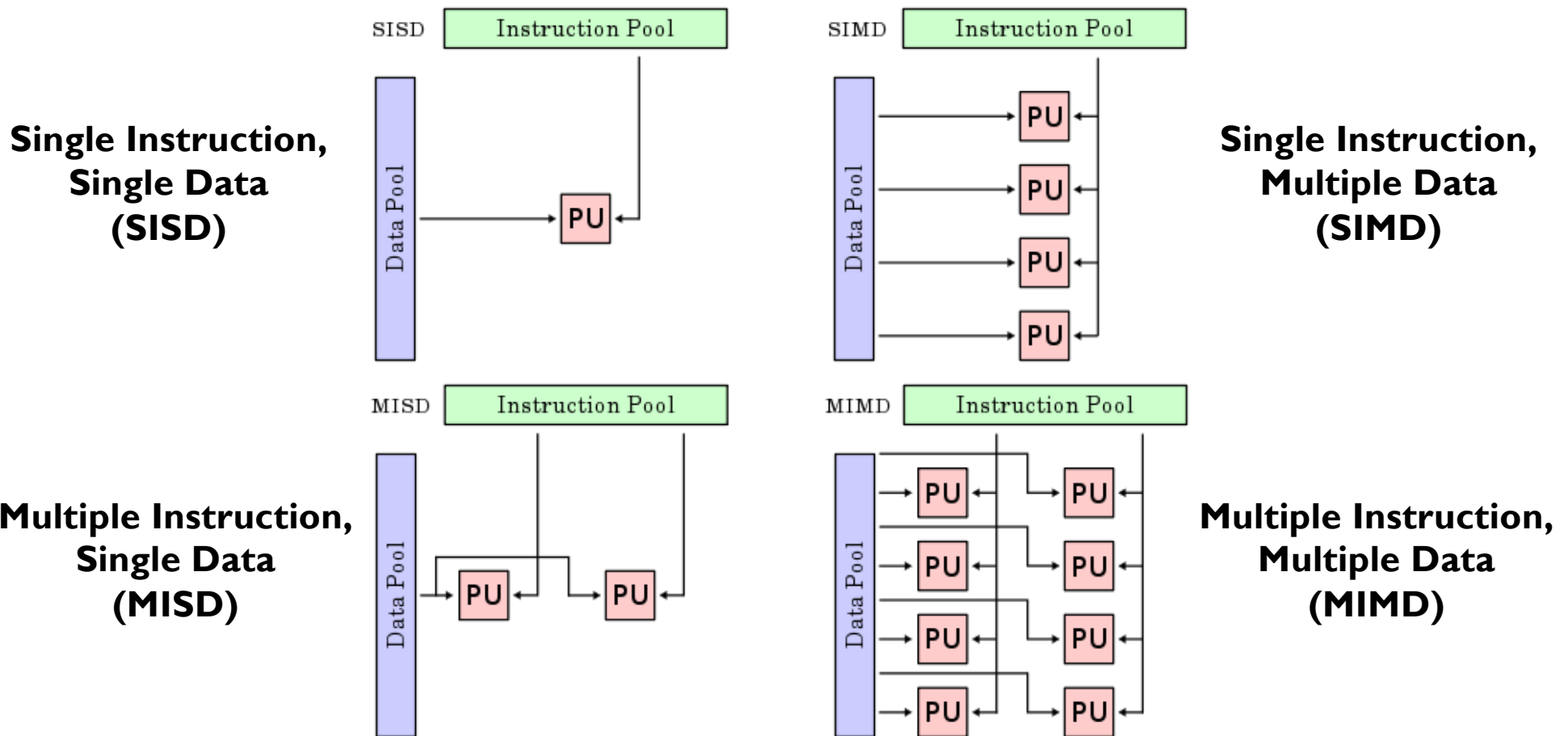
Arhitektura računara IV generacije

Konkurentno programiranje

- Model toka podataka
 - Redosled samo za međuzavisne operacije
 - Sve ostale mogu paralelno
 - ako je okvir popunjen, može se izvršiti
 - Prirodan opis paralelizma, manja opštost
 - Posebne računarske arhitekture
- Paralelizam nevidljiv za programera
 - Protočna struktura
 - kompajler
 - Više procesora opšte namene u računaru
 - veća propusnost u slučaju multiprogramiranja

Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

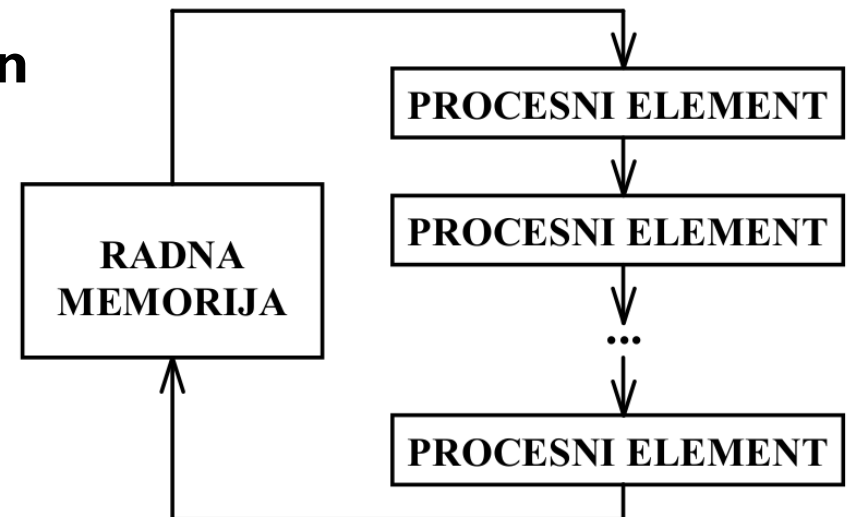


Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Flynn%27s_taxonomy

Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- Računar sa jednim procesorom/jezgrom
 - jedan tok naredbi i jedan tok podataka – **SISD** (engl. *Single Instruction, Single Data stream*)
- Preostala kombinacija
 - više tokova naredbi i sa jednim tokom podataka – **MISD** (engl. *Multiple Instruction, Single Data*)
- Klasifikaciju predložio 1966. **M. J. Flynn**
 - MISD je bio tu samo da je upotpuni
- sistolički računar (engl. *systolic array*)
 - npr. za računanje FFT (engl. *Fast Fourier Transform*)



Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- Svesno korišćenje više procesora za isti problem
 - protočna struktura putem datoteka
 - pretprocesor, kompajler, linker
 - saradnja putem povremene razmene podataka
 - više tokova naredbi i više tokova podataka – **MIMD** (engl. *Multiple Instruction, Multiple Data*)
- **Masovni paralelizam** – ista obrada nad puno podataka (satelitska slika)
 - jedan tok naredbi i više tokova podataka – **SIMD** (engl. *Single Instruction, Multiple Data*)
 - uopštenje vektorskih naredbi
 - Streaming SIMD Extensions (SSE)

Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **SIMD računar**

- skalarne i vektorske naredbe
- skalarna jedinica upravlja radom vektorske
- procesni elementi sa sopstvenom memorijom
 - nepotrebno posebno programsko usklađivanje
 - spojna mreža (engl. *interconnection network*) za komunikaciju

