

Evolucija arhitekture računara

Evolucija arhitekture računara

AR = arhitektura naredbi + organizacija i realizacija računara

Arhitektura naredbi opisuje procesor:

- skup naredbi
- vrste operanada
- načini adresiranja
- adresni prostor
 - vrste i raspon adresa
- memorejske lokacije
 - veličina
- registri
 - broj, veličina i namena

Evolucija arhitekture računara

Skup naredbi:

- prenos podataka
- rukovanje bitovima
- aritmetičke
- upravljačke
- sistemske (npr. sistemski pozivi)
- ulazno-izlazne

Evolucija arhitekture računara

Vrste operanada:

- celi brojevi (označeni i neoznačeni)
- realni brojevi
- znakovi
- logičke vrednosti

U okviru adresiranja, operand može biti:

- deo naredbe
- u registru/memoriji
- sa adresom u registru/memoriji

Evolucija arhitekture računara

Organizacija računara

- vrste organizacionih komponenti
 - procesor
 - radna memorija (RAM)
 - masovna memorija
 - kontroleri
 - U/I uređaji
 - sabirnica
 - OS i sistemske programe
- kombinovanje organizacionih komponenti

Realizacija računara

- Projektovanje i proizvodnja logičkih kola, napajanja, itd.

Pokretači razvoja AR

Optimizacija tehničkih rešenja

- **najpovoljniji odnos funkcionalnosti i proizvodnih troškova**

Proizvodni troškovi

- **Direktni** (nastali u toku proizvodnje)
 - komponente
 - rad
 - garancija
- **Indirektni** (nastali u toku ostalih aktivnosti)
 - istraživanje i razvoj
 - marketing
 - održavanje pogona
 - porezi, kamate, itd.

Pokretači razvoja AR

Snižavanje cene računara vezano je za smanjenje proizvodnih troškova

- snižavanje cene komponenti
- viši stepen automatizacije proizvodnje

Niža cena → veća dostupnost → veća proizvodnja

Veća proizvodnja dovodi do:

- raspoređivanje indirektnih troškova na veći broj jedinica
- više novca za istraživanje i razvoj

Pozitivna povratna sprega – snižavanje cena ↔ širenje tržišta

Nemoguće stalno snižavanje

Arhitektura računara – prvih 5000 godina

Razvoj mašina za računanje

Abakus – 2700. p.n.e.

Mašina sa Antikitere – 200. p.n.e.

Astronomski satovi – XII vek

Leonardo da Vinči, Paskal, Lajbnic – XV do XVII vek

Analitička mašina – 1837.

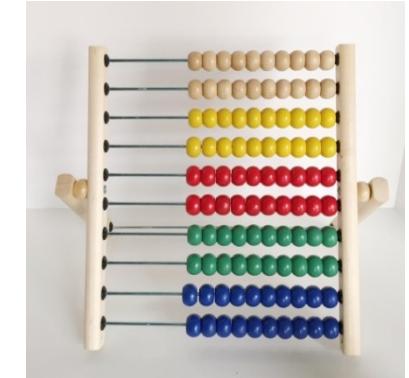
Tjuringova mašina – 1936.

Elektronski računar (ENIAC) – 1946.

Tranzistor – 1948.

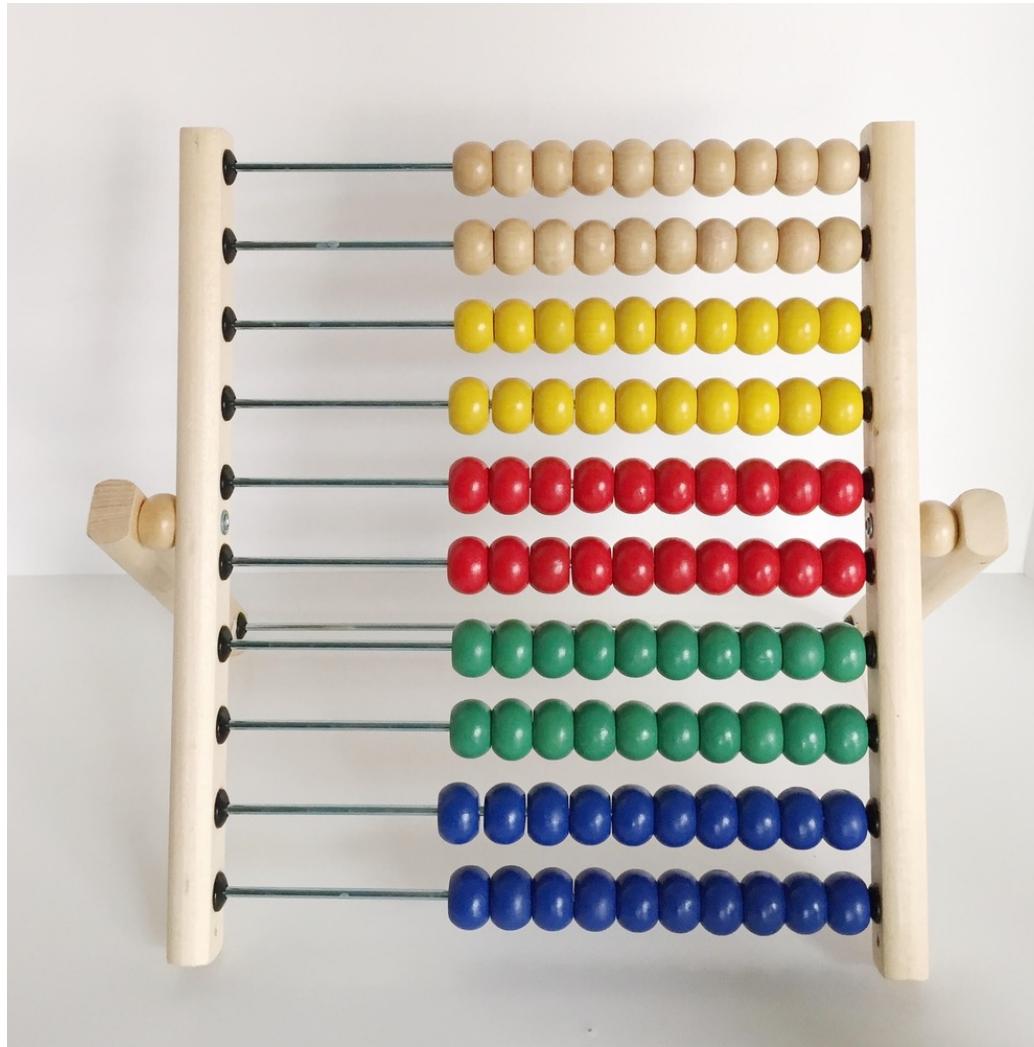
Mikroprocesor – 1971.

Savremeni računari



Izvori: www.wikipedia.org, www.computerhistory.org

Abakus – 2700. pre nove ere

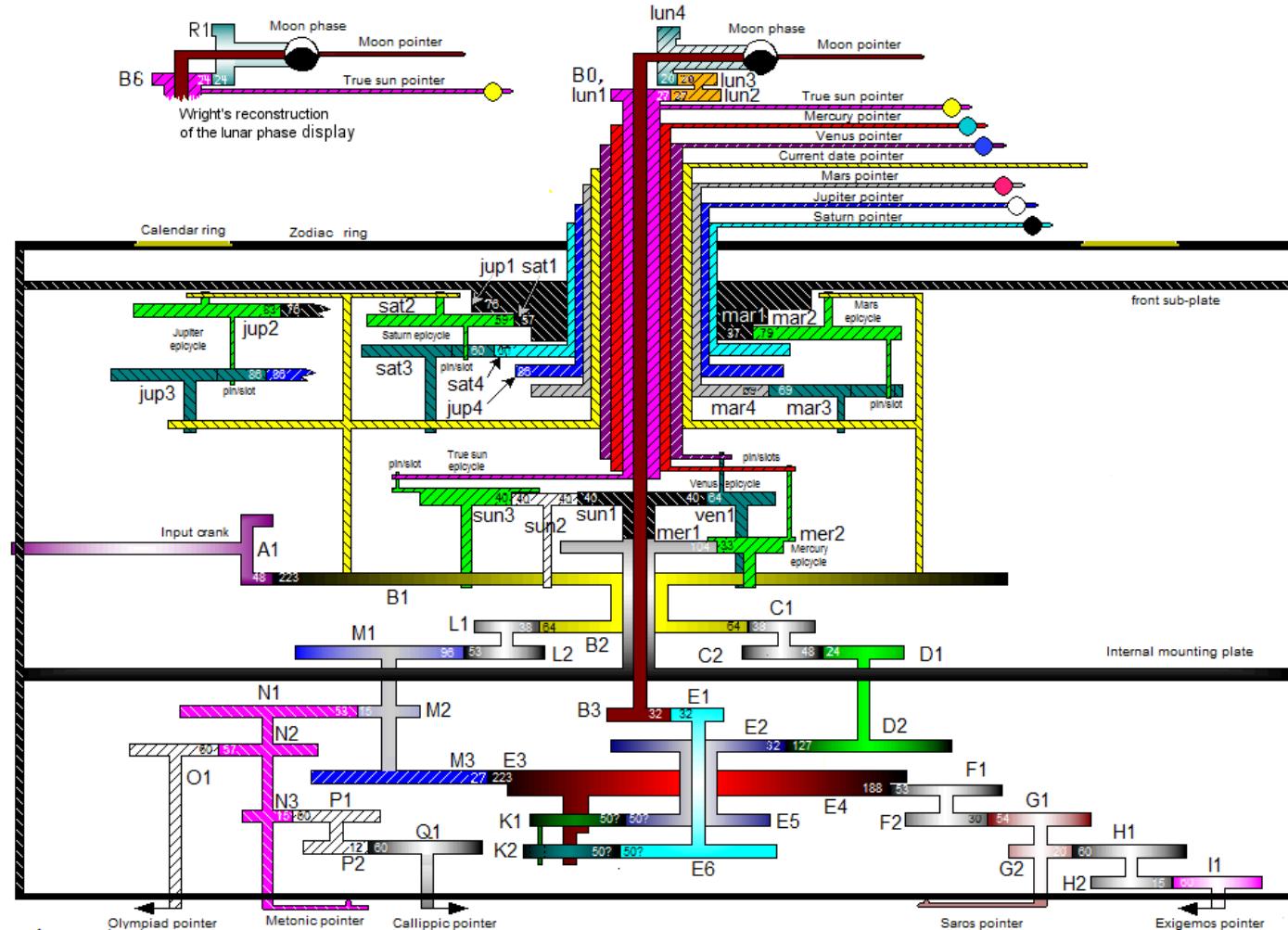


Mašina sa Antikitere –200. p.n.e.



Analogni računar (praćenje položaja planeta, preko 30 zupčanika)

Mašina sa Antikiterom – 200. p.n.e.

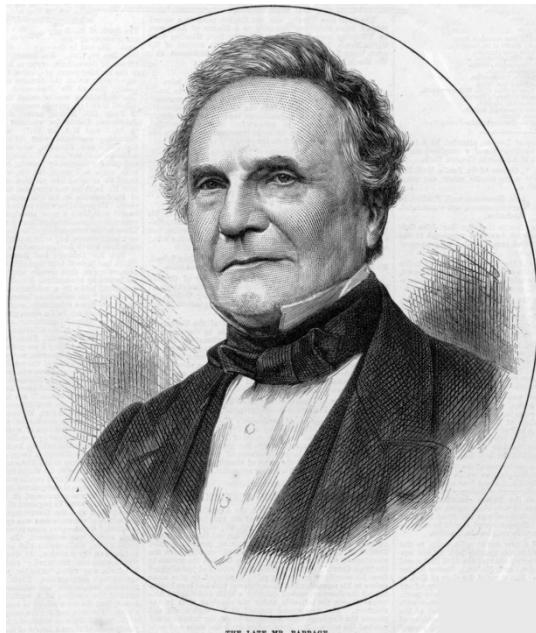


Analogni računar (pranje položaja planeta, preko 30 zupčanika)

Astronomski satovi – XII vek

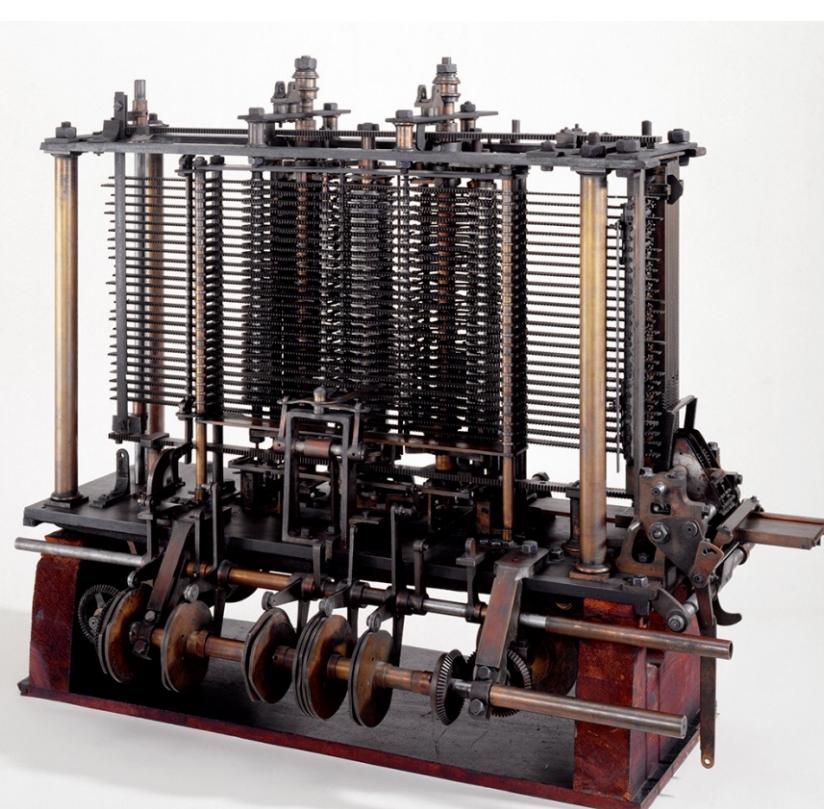


Analitička mašina – 1837.



Charles Babbage
(1791–1871)

(diferencna mašina – računanje vrednosti polinomnih funkcija, analitička mašina – računar opšte namene, bušene kartice – Žakardov razboj)



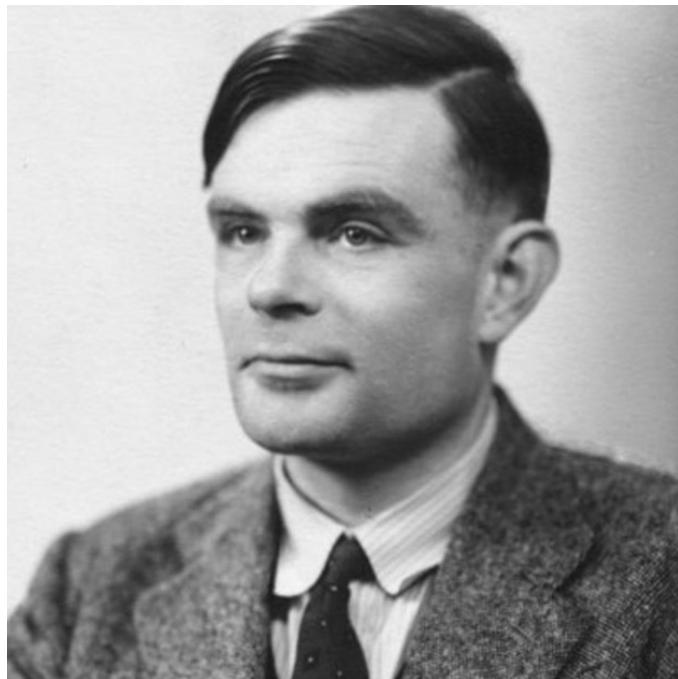
Model analitičke mašine
(prvi Tjuring-kompletan računar:
ALU, kontrola toka – selekcija i iteracija, memorija)



Ada Lovelace
(1815–1852)

(prvi računarski program – metod za računanje niza Bernulijevih brojeva)

Tjuringova mašina – 1936.



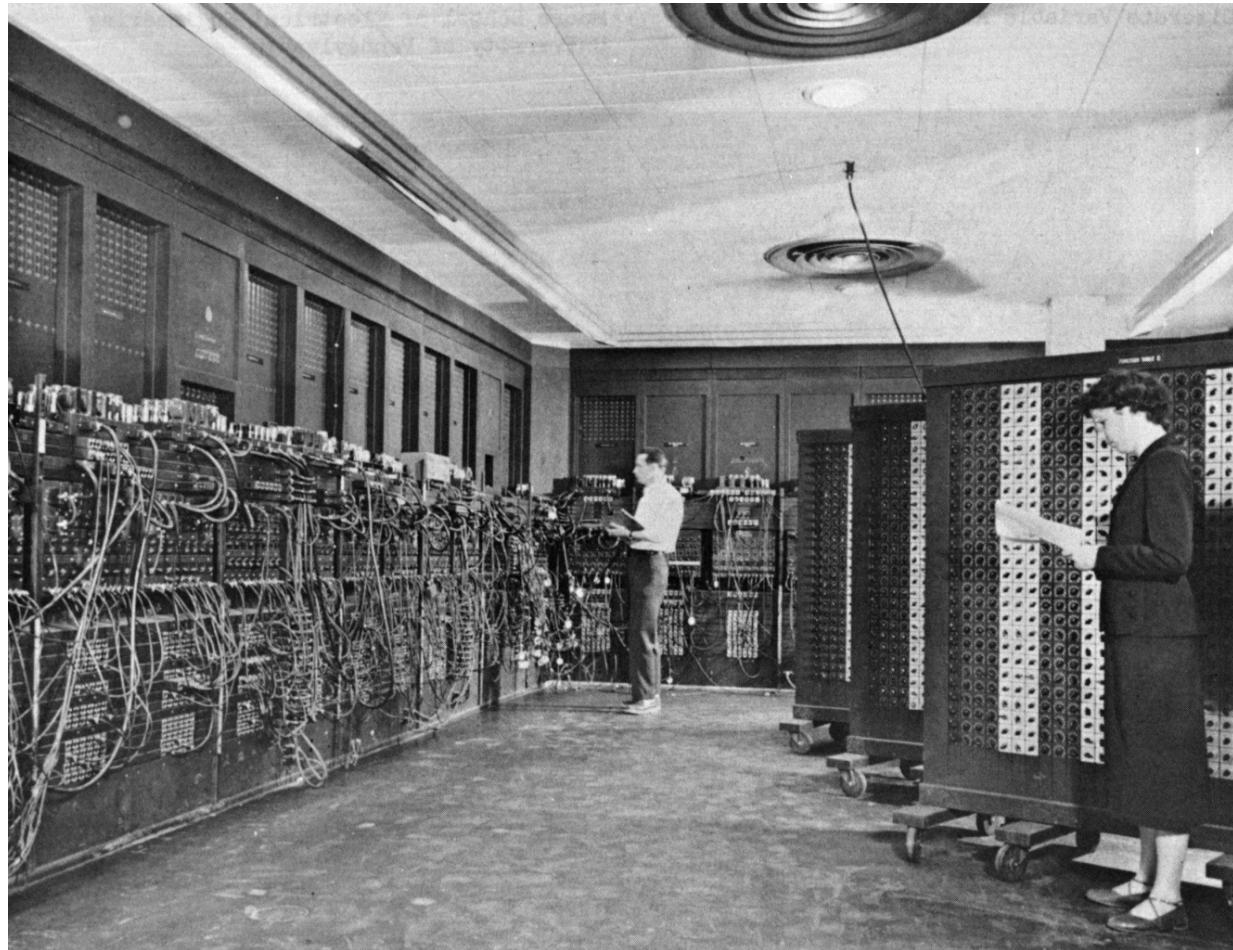
Alan Turing
(1912–1954)



Približni model Tjuringove mašine
(beskonačna traka, glava, registar stanja, tabela operacija)

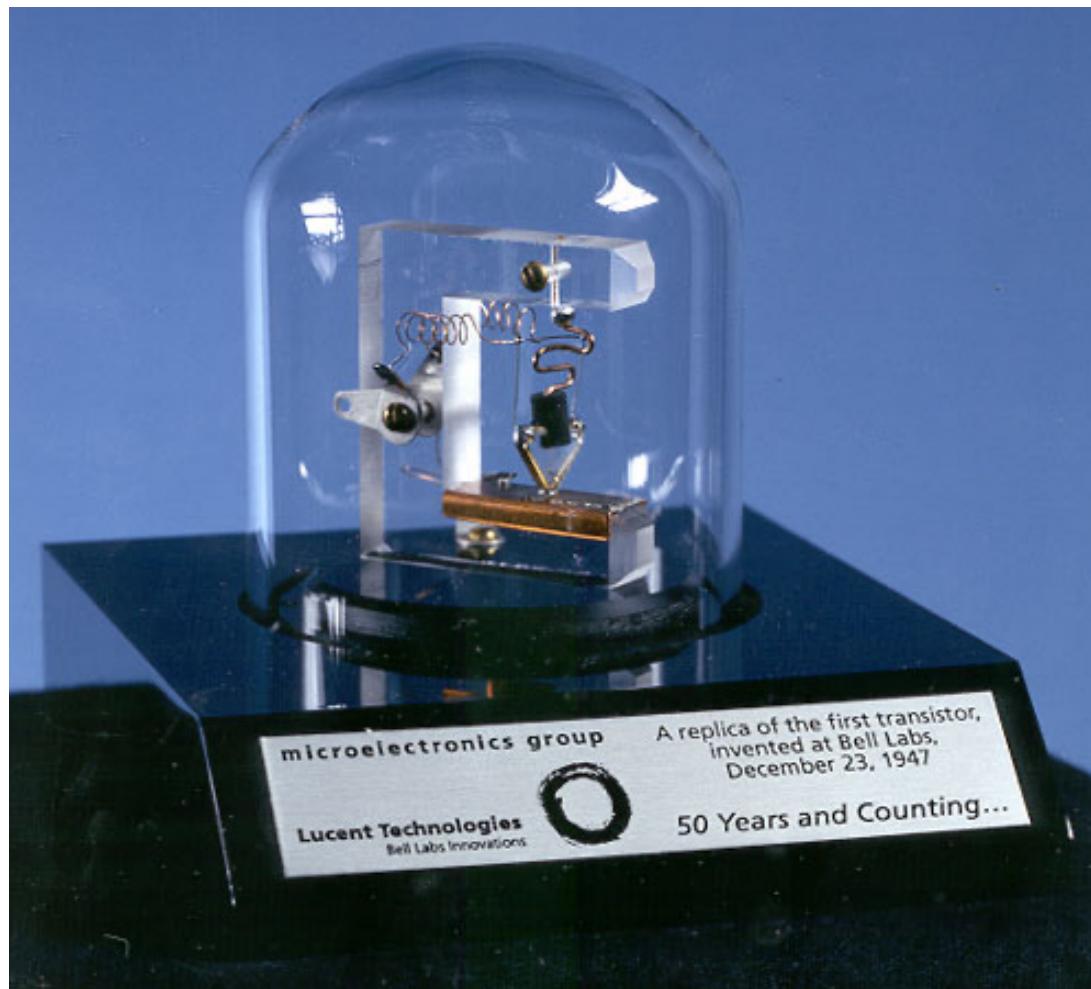
Turing, A.M. (1936). "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem". *Proc.London Mathematical Society*. 2 (pub. 1937). **42**: 230–265.

Elektronski računar – ENIAC 1946.

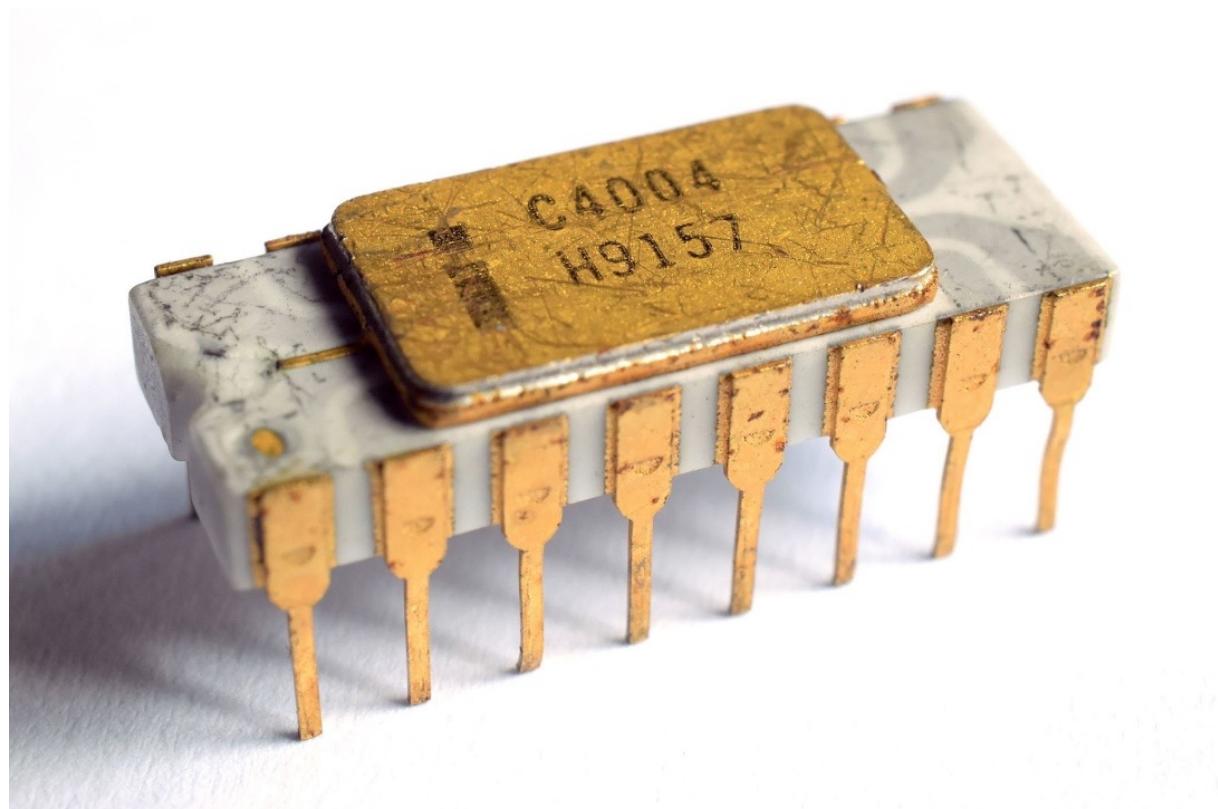


Electronic Numerical Integrator And Computer (ENIAC)
(20000 vakumskih cevi, 5 miliona lemljenih spojeva, 170 m², 150 kW)

Tranzistor – Bell Labs 1948.



Mikroprocesor – Intel 4004 | 1971.



Personalni računar – IBM PC 1981.



Sveprisutni računari – XXI vek



Strukturirana organizacija računara

Nivo 5

Nivo namenskih programskega jezika

Prevodenje (kompajler)



Nivo 4

Nivo asemblerškega jezika

Prevodenje (asembler)

Nivo 3

Nivo mašine operativnega sistema

Delimična interpretacija (operativni sistem)

Nivo 2

Nivo arhitekture skupa instrukcija (ISA)

Interpretacija (mikroprogram)

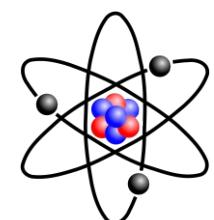
Nivo 1

Nivo mikroarhitekture

Hardver

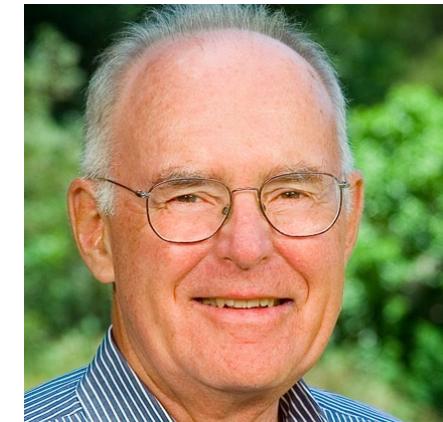
Nivo 0

Nivo digitalne logike



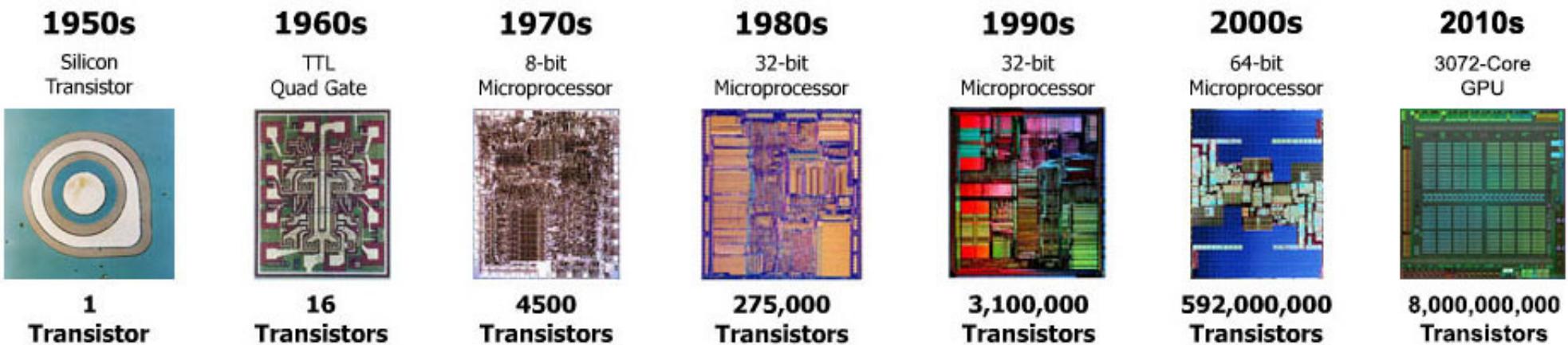
Porast performansi računara

Murov zakon je zapažanje da se broj tranzistora u integriranim kolima duplira približno svake 2 godine



Gordon Moore
(1929–)

Evolucija arhitekture elektronskih računara (1945-danas)



Evolucijski period arhitekture računara oko 1950.

AR oko 1950.

1951. – isporučen prvi primerak UNIVAC I (*UNIVersal Automatic Computer*)

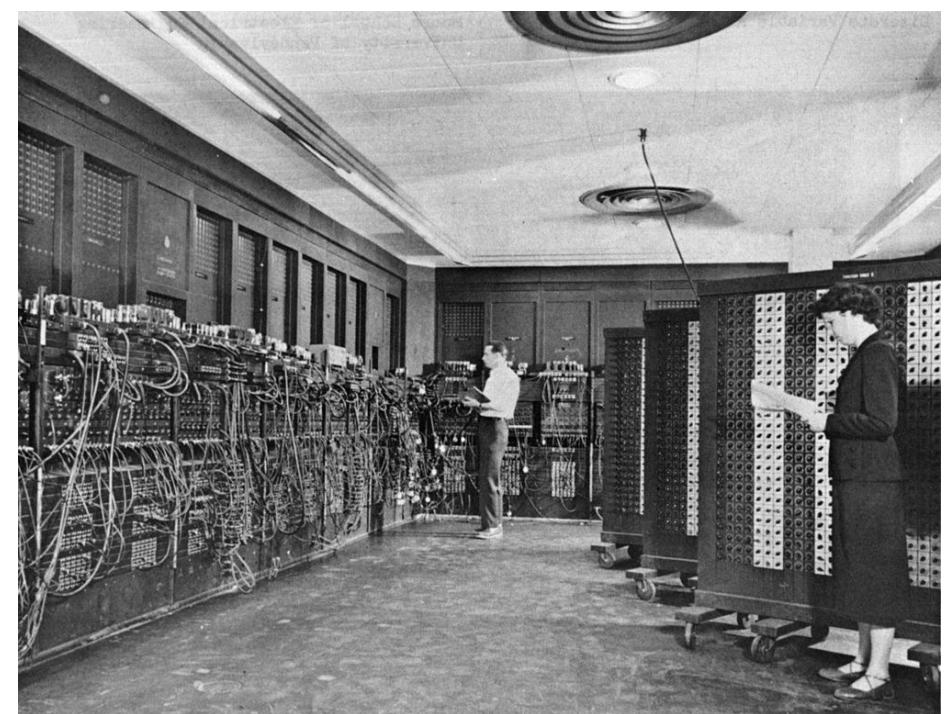
Digitalni računar sa programom smeštenim u memoriji



Izvori: www.wikipedia.org, www.computerhistory.org

AR oko 1950.

Autori UNIVAC-a, Eckert i Mauchly, još 1946. radili na ENIAC-u (*Electronic Numerical Integrator And Calculator*) u okviru grupe sa Univerziteta Pensilvanija – Moore School of Engineering



AR oko 1950.

ENIAC – dekadni brojni sistem, komplement 10

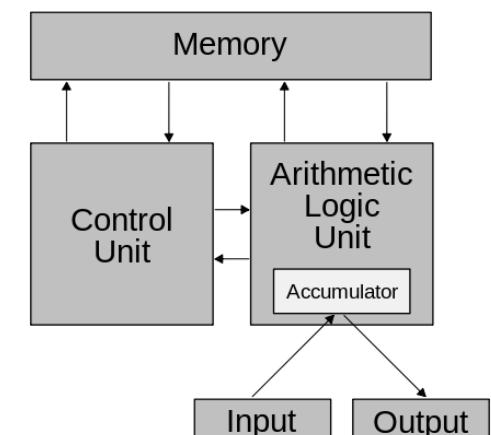
- memorija samo za podatke
- program preko upravljačke table

1945. – John von Neumann, zajedno sa kolegama iz grupe, definiše dominantnu arhitekturu današnjih računara (EDVAC – *Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) – **von Neumannova arhitektura – objedinjena memorija za instrukcije i podatke** (“First Draft of a Report on the EDVAC”)

1946. – John von Neumann, objavljuje drugi rad, IAS (*Institute for Advanced Study*) unapređenje arhitekture

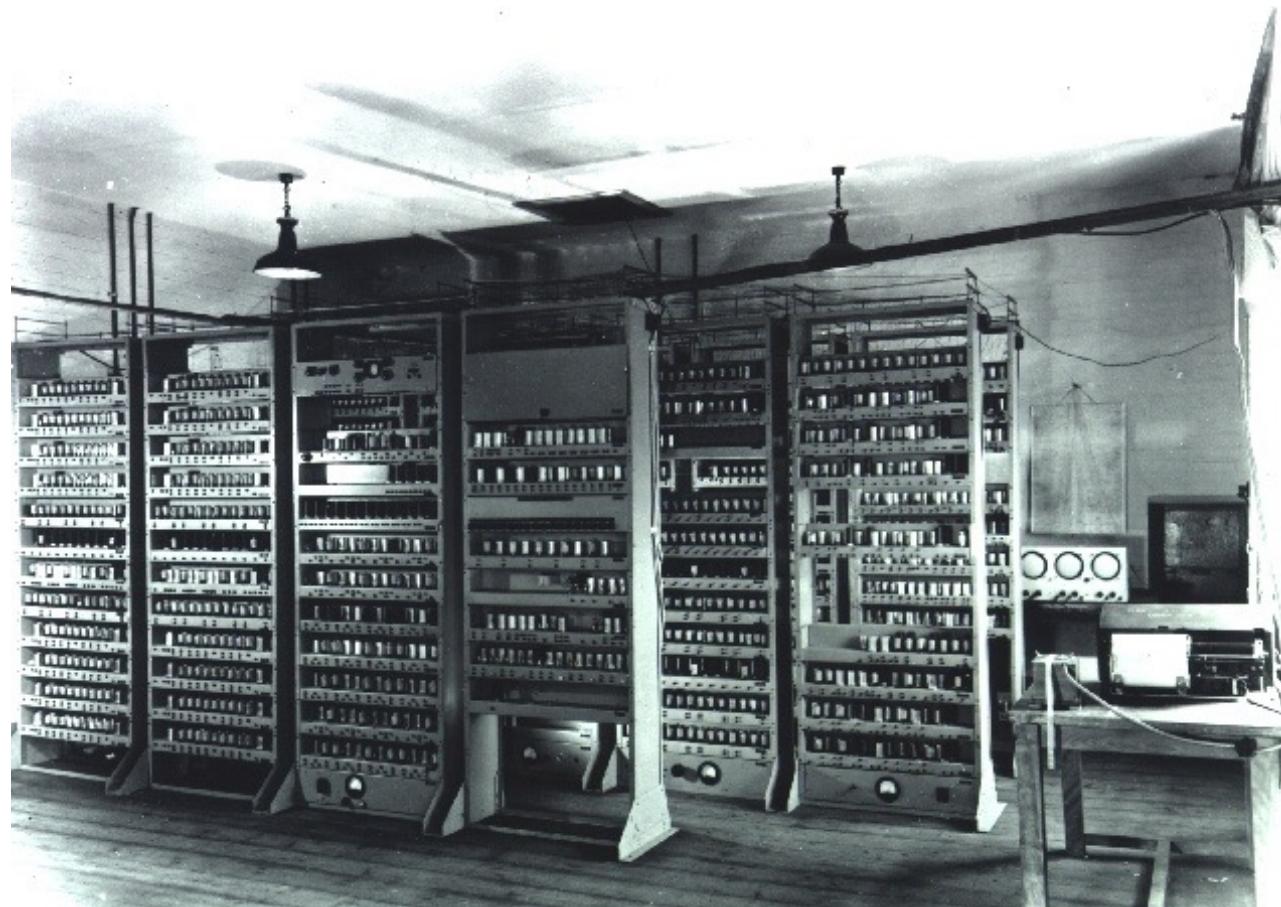


John von Neumann (1903-1957)



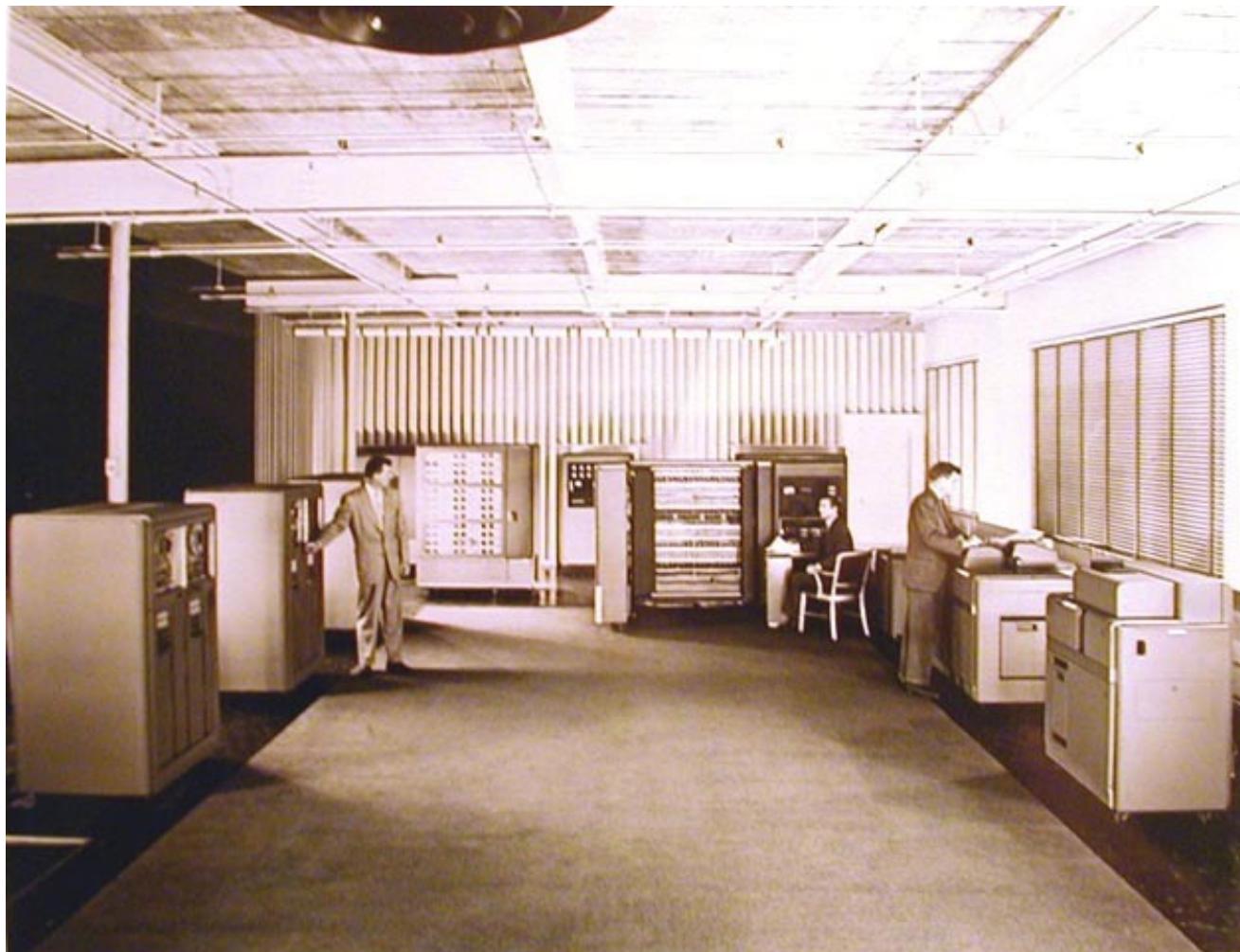
AR oko 1950.

1949.– EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator*)
UK, Univerzitet Kembridž, **prvi asemblerски језик**



AR oko 1950.

1953. – na tržištu se pojavio IBM 701



AR oko 1950.

IBM 701 – elektronske cevi, Williamsova cev



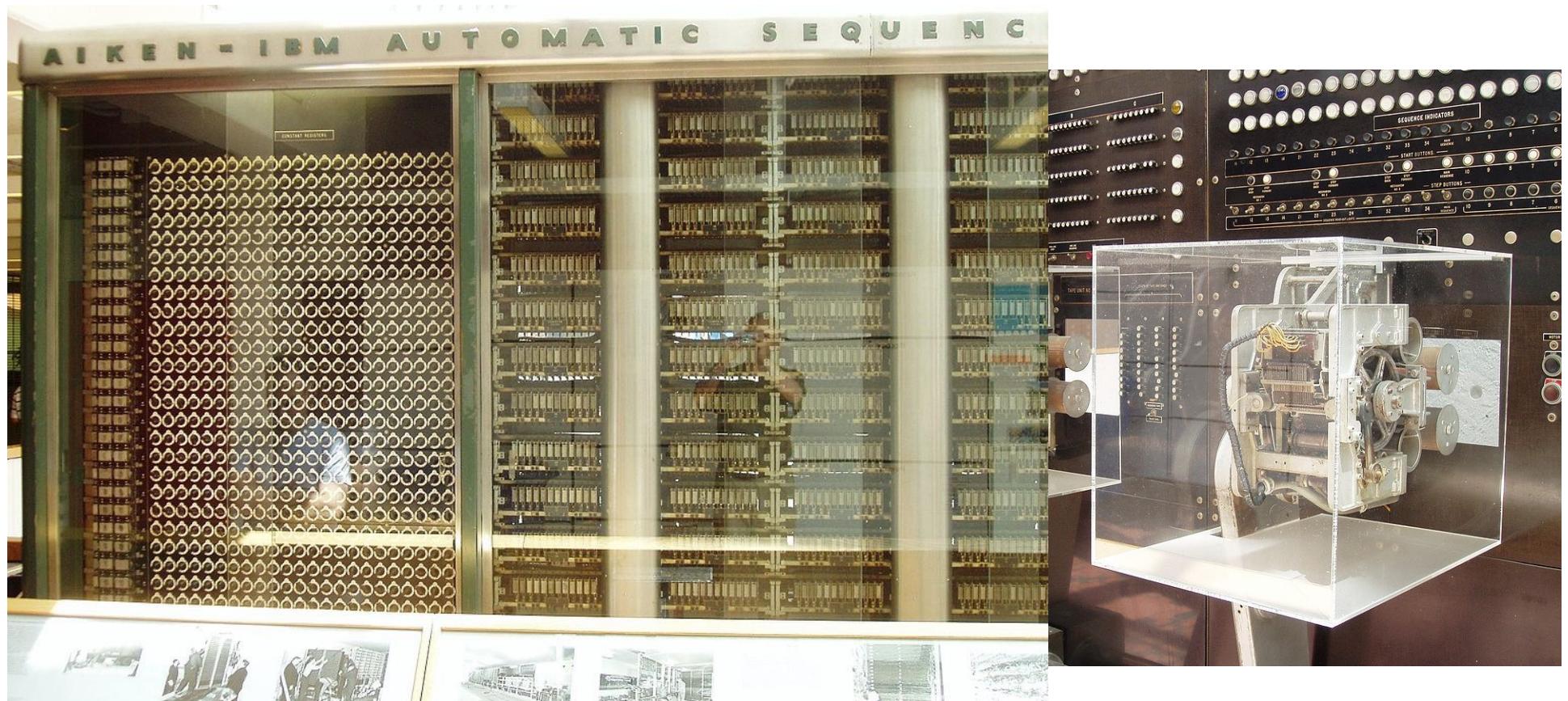
AR oko 1950.

1955. – poslovni IBM 702 – napravljeno 14 računara!



AR oko 1950.

1944. IBM, Harvard – MARK I, elektro-mehanički računar
opšte namene

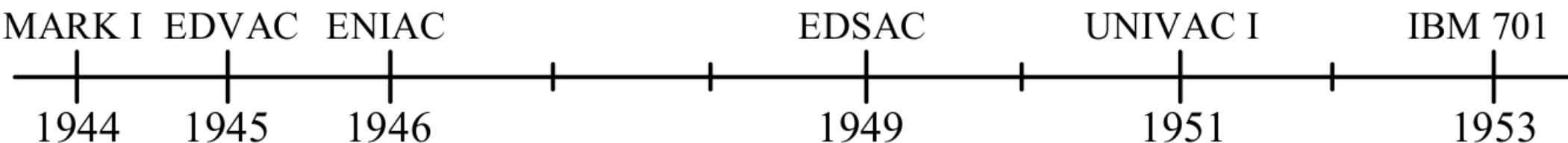


AR oko 1950.

MARK I korišćen 1944. za simulacije prilikom projektovanja prve atomske bombe u okviru Menhetn projekta

Idejni tvorac Howard Aiken (Harvard)

- kasnije MARK II, MARK III i MARK IV
- odvojena memorija za podatke i kod – **Harvardska arhitektura**

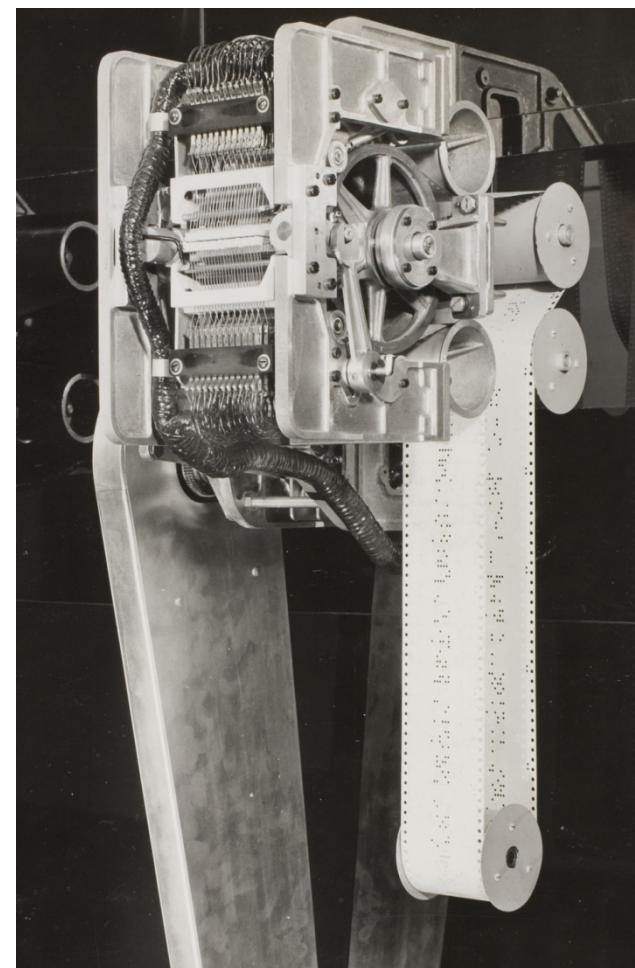


AR oko 1950.

Uvedeni u upotrebu neki od danas standardnih računarskih termina...

petlja (engl. *loop*)

Mark I – sekvencijalni kod i podaci na traci se mogli uvezati u petlju (na slici interpolator)

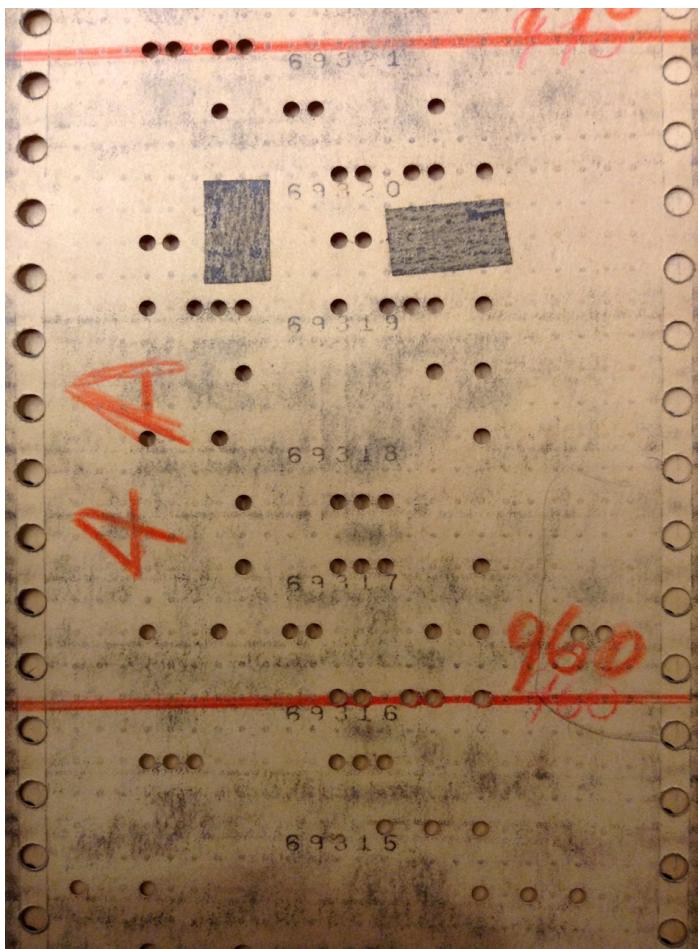


Izvor: <http://sites.harvard.edu/~chsi/markone/language.html>

AR oko 1950.

Uvedeni u upotrebu neki od danas standardnih računarskih termina...

zakrpa (engl. *patch*)

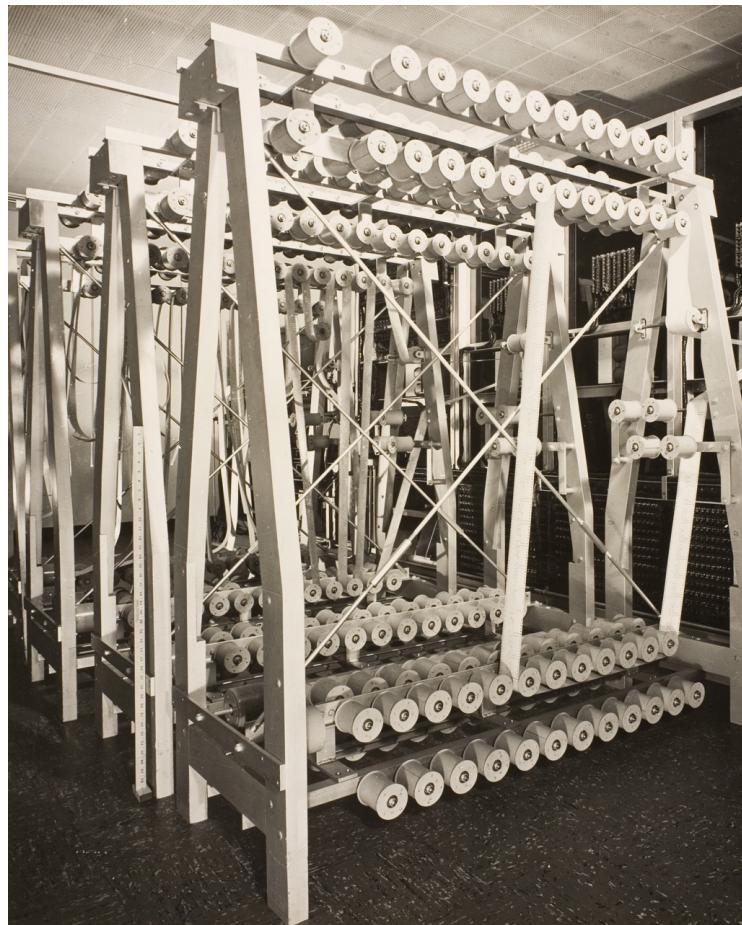


Izvor: <http://sites.harvard.edu/~chsi/markone/language.html>

AR oko 1950.

Uvedeni u upotrebu neki od danas standardnih računarskih termina...

biblioteka (engl. *library*)

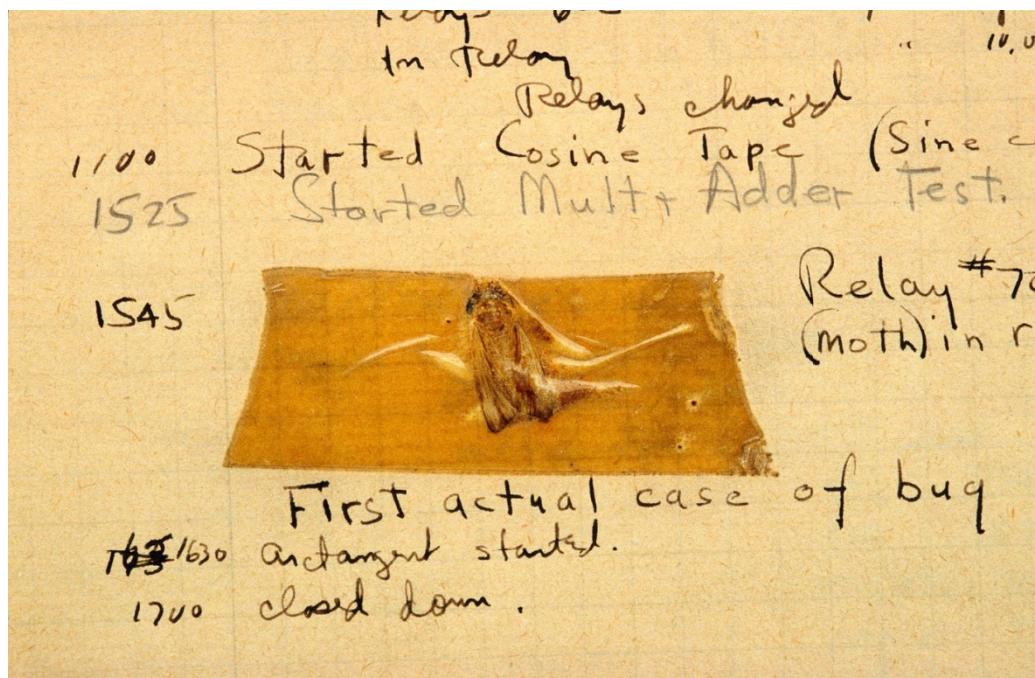


Izvor: <http://sites.harvard.edu/~chsi/markone/language.html>

AR oko 1950.

Uvedeni u upotrebu neki od danas standardnih računarskih termina...

greška (engl. *bug*) – Mark II

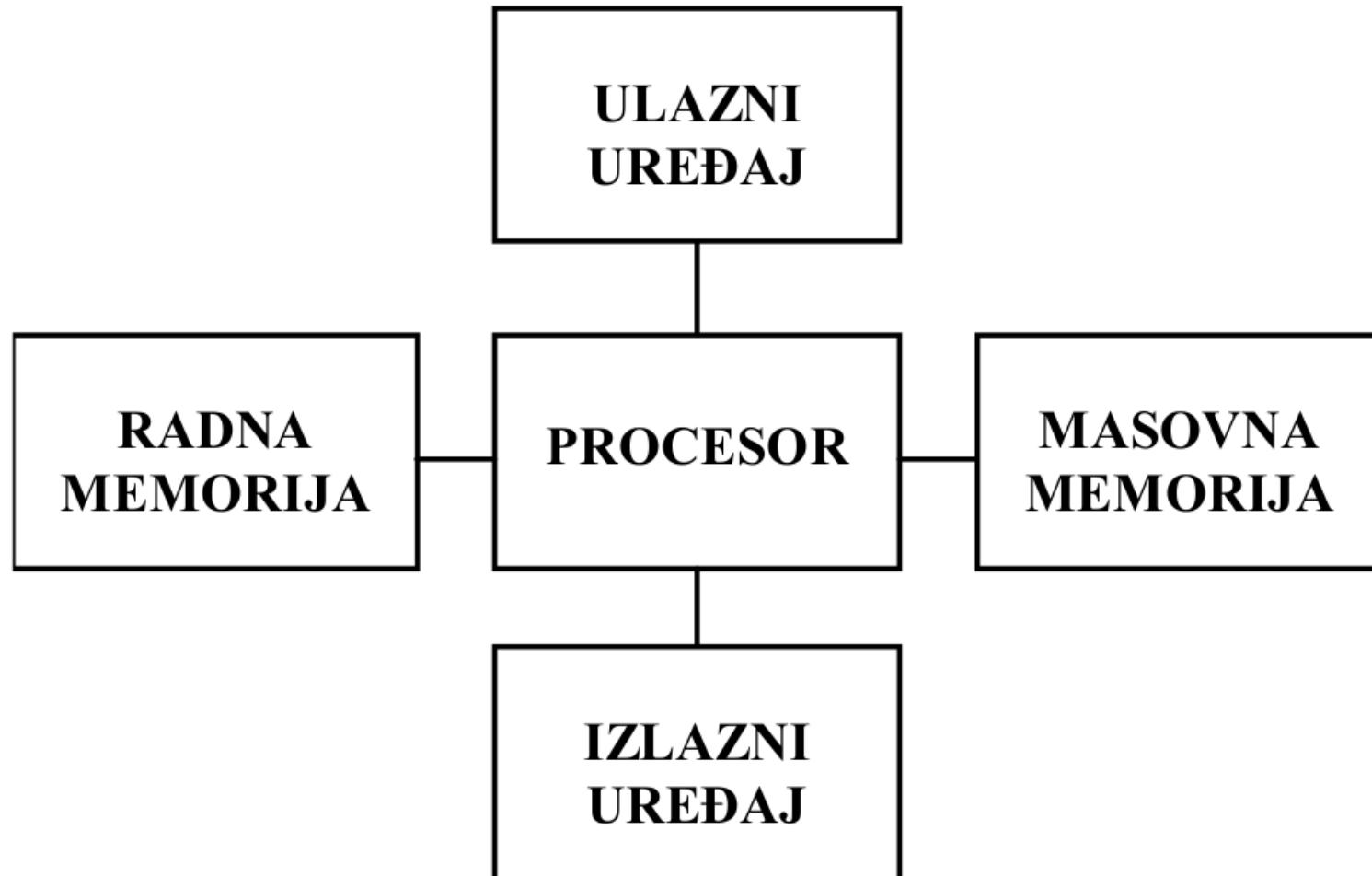


Grace Hopper
(1906–1992)

Nastanak programskih prevodioca

Arhitektura računara I generacije

UNIVAC I, IBM 701



Arhitektura računara I generacije

Zasebne magistrale (upravljačke, adresne, linije podataka) za različite delove računara

CPU – elektronske cevi (prva napravljena 1906)

Memorija

- elektrostatičke (Williamsova cev)
- magnetne trake
- čitači bušenih traka/kartica
- bušači traka/kartica, štampači



Nedostatak – CPU posreduje u svim razmenama podataka

Arhitektura računara I generacije

Posebne U/I naredbe

- U/I adresni prostor
- memorijski adresni prostor

Nije bilo aritmetike pokretne tačke, potprograma, adresiranja za rad sa nizovima

- kako raditi sa nizovima?

Upravljačka tabla, nedostatak isključivo interaktivno korišćenje

Već ovde se najbrža/najskuplja tehnologija koristila za CPU, a sporija/jeftinija za radnu i masovnu memoriju

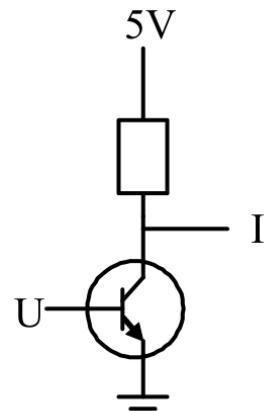
Evolucijski period arhitekture računara oko 1960.

Arhitektura računara II generacije

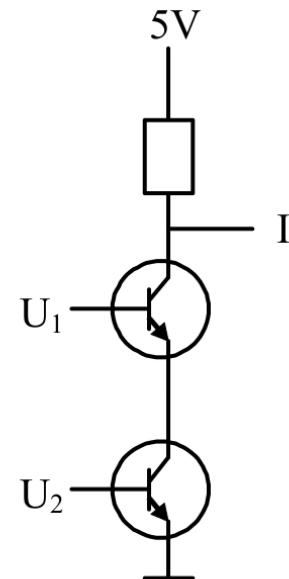
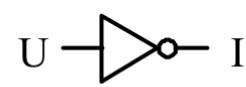
Diskretni poluprovodnici, magnetna jezgra, digitalna kola

1948. – tranzistor

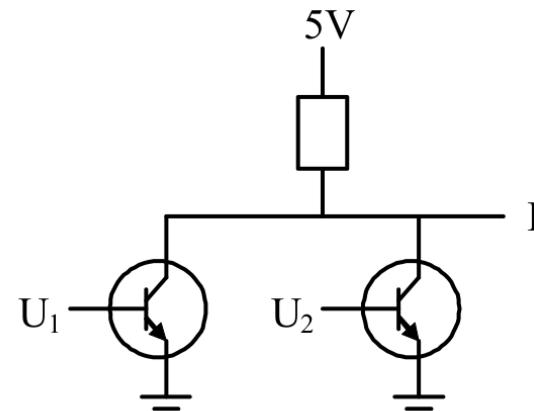
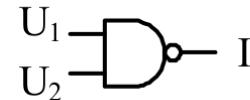
1949. – magnetna jezgra



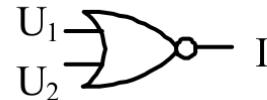
not



nand



nor



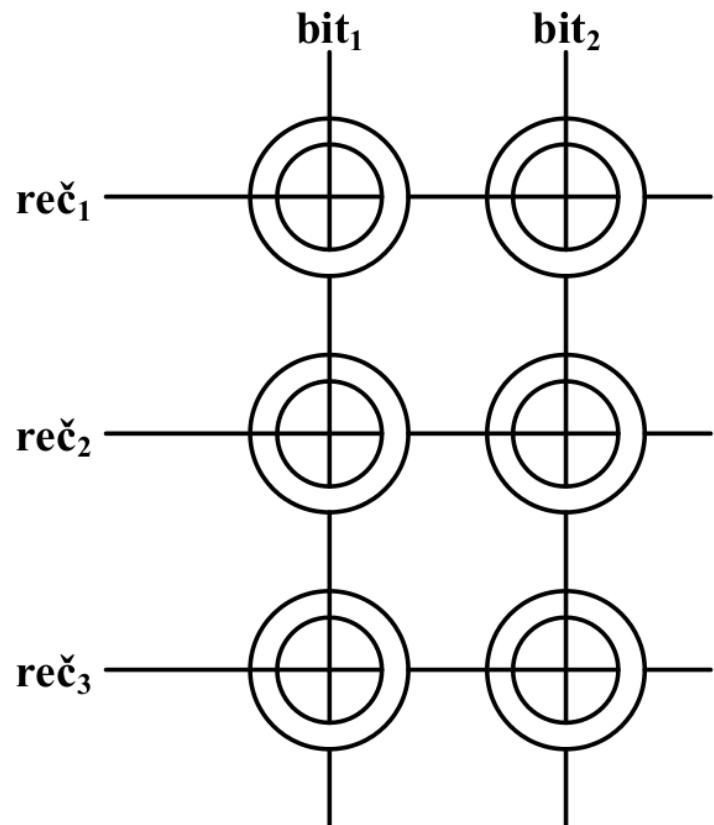
Arhitektura računara II generacije

Diskretni poluprovodnici

- niža cena, manje dimenzije, manja potrošnja, manje toplotno zračenje

Radna memorija

- magnetna jezgra – niža cena,
manje dimenzije
- jedan bit – jedan magnet
- čitanje
 - napon na reč₁, čitanje sa bit₁ i bit₂
- pisanje
 - napon na reč₁ i bit₁, reč₁ i bit₂



Arhitektura računara II generacije

Magnetna jezgra

- čitanje je destruktivno
- detekcija da li je bilo indukovana struje
- vreme čitanja
- vreme ciklusa



Kontroleri

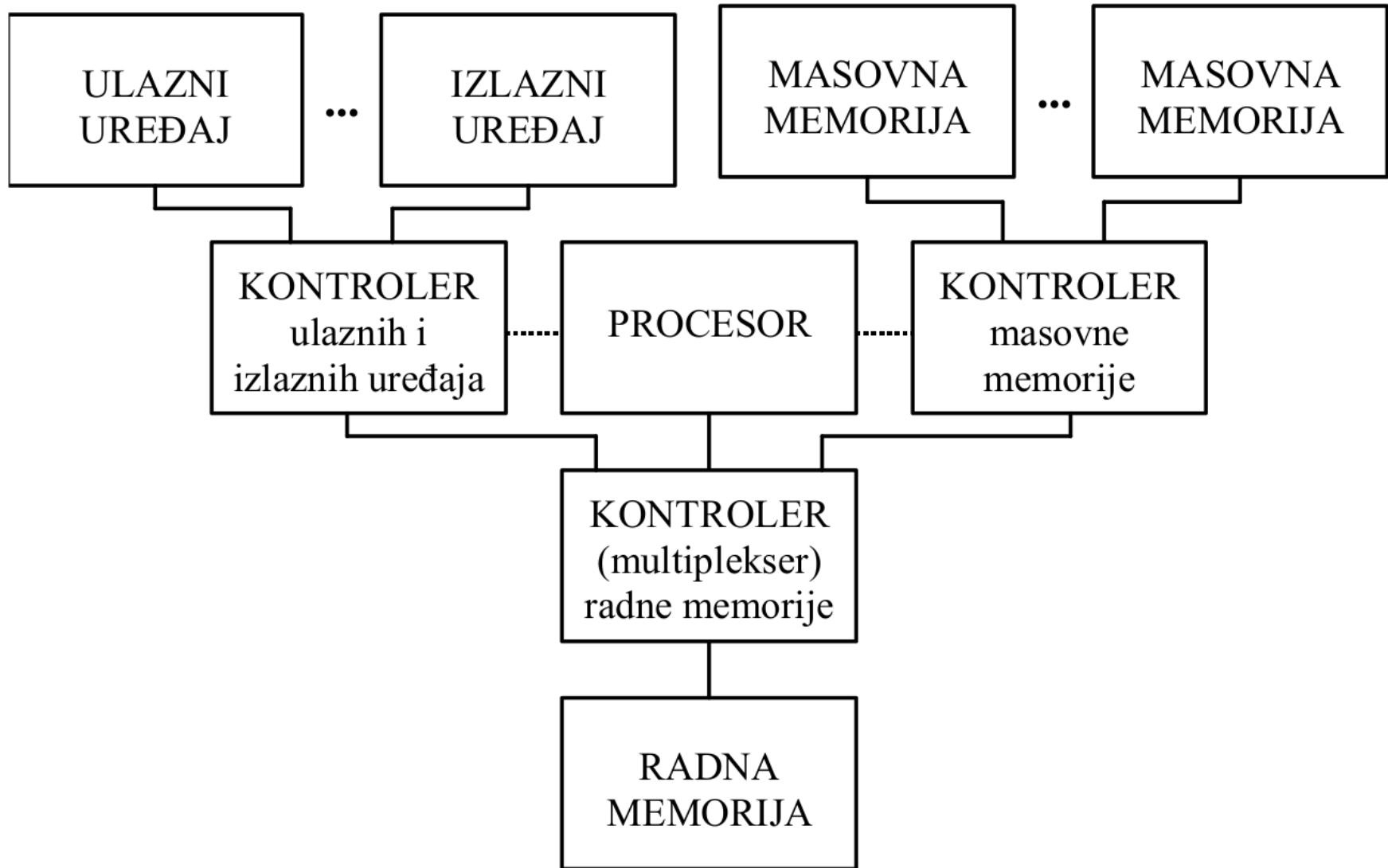
- postali mogući snižavanjem cena poluprovodnika
- specijalizovani za poslove upravljanja uređajima
- ponekad komplikovani -> jednostavni CPU
- procesori posebne namene (*input output processor*)

Arhitektura računara II generacije

Skup naredbi kontrolera

- upravljačke
- naredbe za rukovanje uređajima
- naredbe za prenos podataka
- nisu bili dovoljno opšti da bi izvršavali korisničke programe

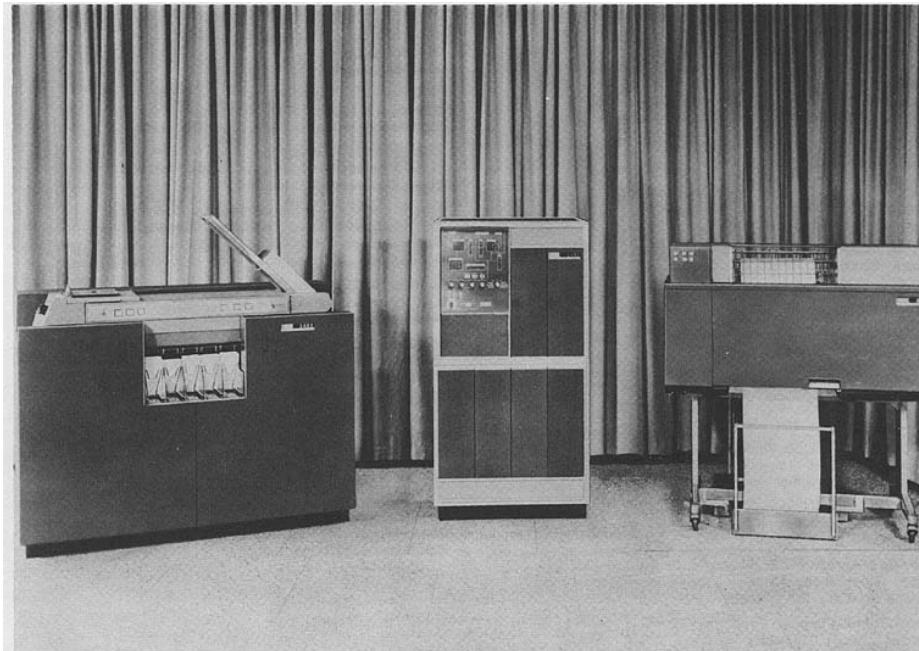
Arhitektura računara II generacije



Arhitektura računara II generacije

Arhitektura naredbi zavisila od primene

- poslovna obrada podataka – IBM 1401
- numerička obrada podataka – IBM 7094 (floating point)



Arhitektura računara II generacije

Arhitektura naredbi

- potprogrami
- indeksno adresiranje
- do 3 adresna operanda u naredbi

SABERI A,B,C

$C=A+B$

SABERI A,B

$B=A+B$

SABERI A

$AKU=AKU+A$

SABERI

$STEK=STEK+STEK_{-1}$

- jedno-adresni - **akumulatorska arhitektura**

- IBM 7094, naredbe za akumulator

- nula-adresni - **stek arhitektura**

- Burroughs B5000, naredbe za stek

Arhitektura računara II generacije

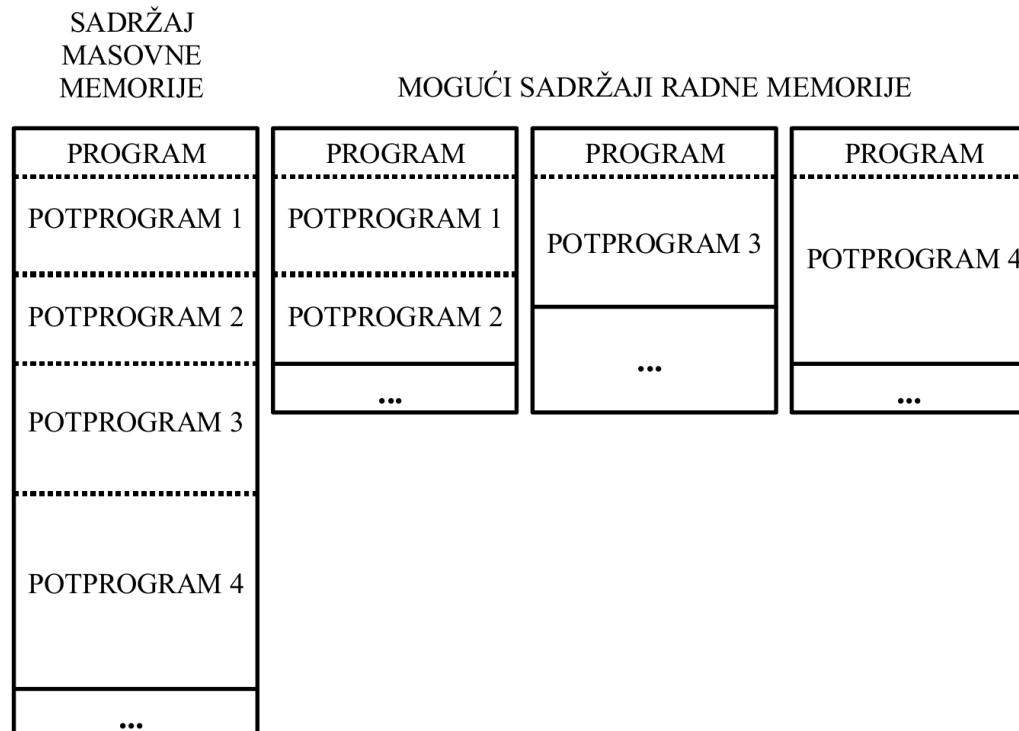
Programski jezici visokog nivoa

- 1954-1957 – **FORTRAN** (engl. *FORmula TRANslation*), John Backus, IBM
- 1959 – **COBOL** (engl. *COmmon Business Oriented Language*)
- **uopšteni model računara**
 - programiranje bez poznavanja detalja funkcionisanja
- **kompajleri**
 - prenosivost programa
 - biblioteke potprograma
 - linker

Arhitektura računara II generacije

Memorijska hijerarhija

- mala količina radne memorije
- sadrži samo deo koda i podataka, u nadležnosti programa
- preklapanje (engl. *overlaying*) (Turbo Pascal, 1985)



Arhitektura računara II generacije

Operativni sistemi

- nestanak interaktivnog rada
- operater preuzima program na bušenoj kartici
- batch processing
- vraćanje rezultata programeru (listing, buštene kartice)
- prvi OS – *batch monitor, batch system, GM NAA I/O za IBM 701*
 - kompajliranje
 - punjenje u memoriju
 - izvršavanje

Nedostaci računara II generacije:

- slaba iskorištenost paralelizma
- smanjena produktivnost programera
- komplikovano upravljanje memorijskom hijerarhijom

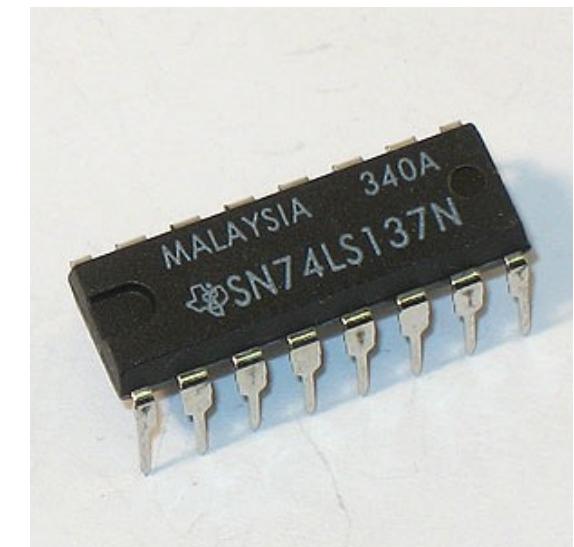
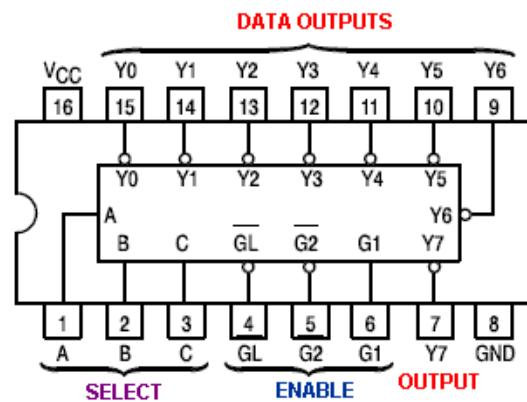
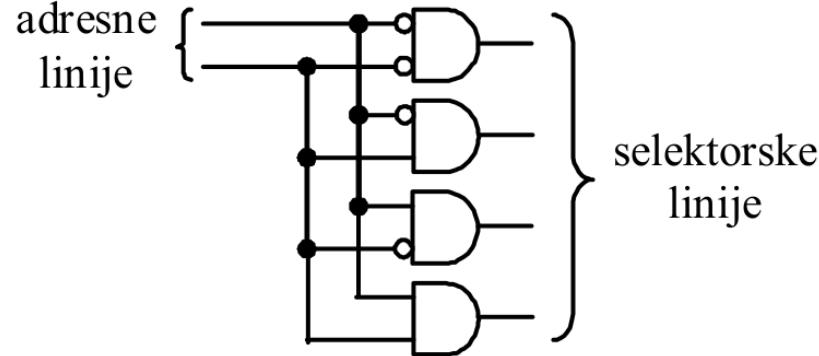
Evoluciioni period arhitekture računara oko 1970.

Arhitektura računara III generacije

Oko 1970. – **integrисана kola i magnetni diskovi**

Integrисана kola (engl. *integrated circuits*)

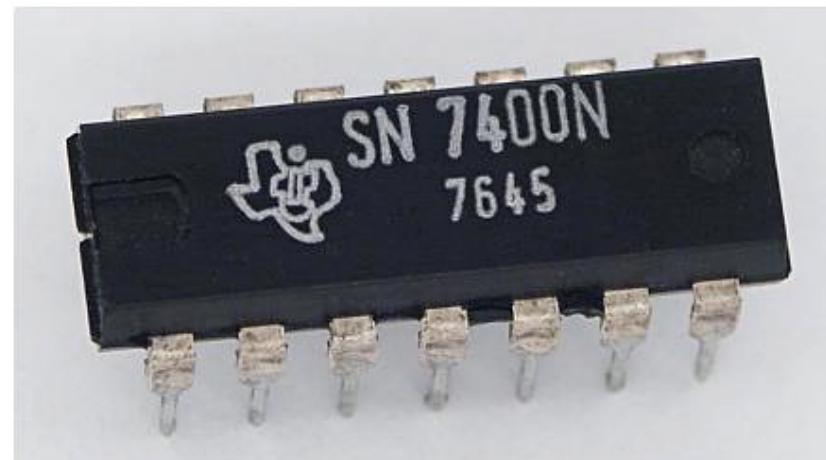
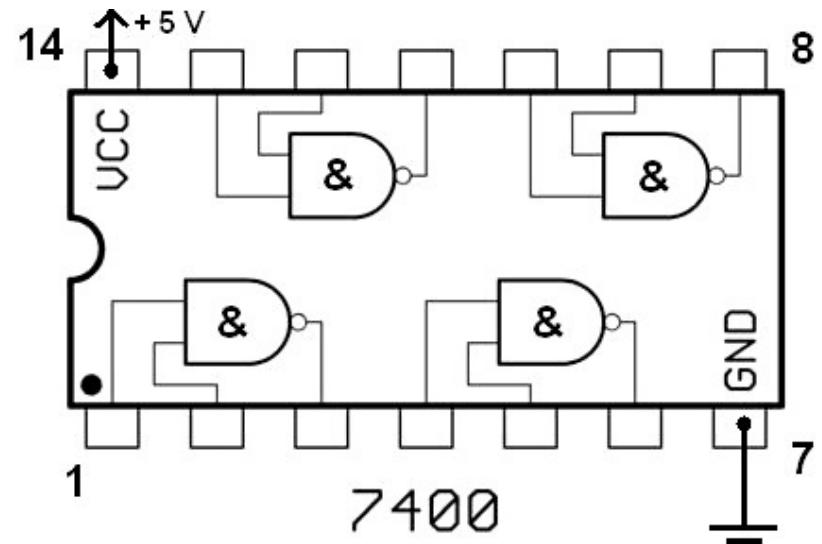
- smeštanje minijaturnog elektronskog kola na jednu silicijumsku pločicu – čip (engl. *chip*)
- istisnula diskretne poluprovodnike
- niža cena, veća brzina, manja potrošnja i toplota
- kombinaciona kola



Arhitektura računara III generacije

7400 serija

- de facto standard za digitalnu elektroniku, TTL
- 1964, 7400N 4xNAND
- danas sadrži više stotina čipova u različitim pakovanjima
- logičke funkcije, (de)multiplexeri, flip-flopovi, registri, brojači, memorija, itd.
- korišćena još od 1960-tih za izradu računara



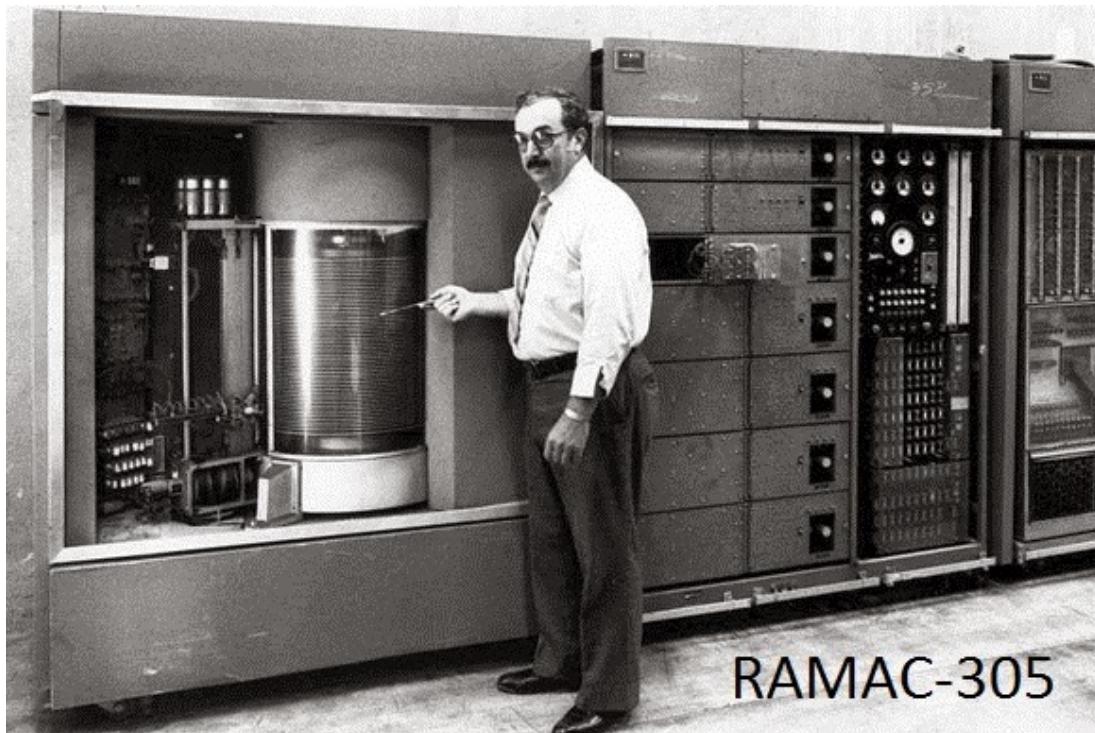
Arhitektura računara III generacije

Magnetni diskovi

magnetne trake dobijaju arhivsku ulogu

nesekvencijalni pristup podacima

septembar 1956. – prva isporuka



Arhitektura računara III generacije

Veliki (engl. *mainframes*) i mini računari (engl. *minicomputers*)

- bolji odnos cene i performansi
 - ista funkcionalnost za manje novca
 - poboljšana funkcionalnost za isti novac
- minicomputer – skromnija funkcionalnost i znatno niža cena
- mainframe – poboljšana funkcionalnost
- prefiks “mini” – cena, mogućnosti i dimenzije

Arhitektura računara III generacije

Veliki računari – familije

- svi računari iz familije imaju istu arhitekturu naredbi, ali različite brzine, količine memorije, U/I uređaje
- nadogradnja računara
- IBM 360/370
 - doveo IBM u poziciju vodećeg proizvođača velikih računara



Arhitektura računara III generacije

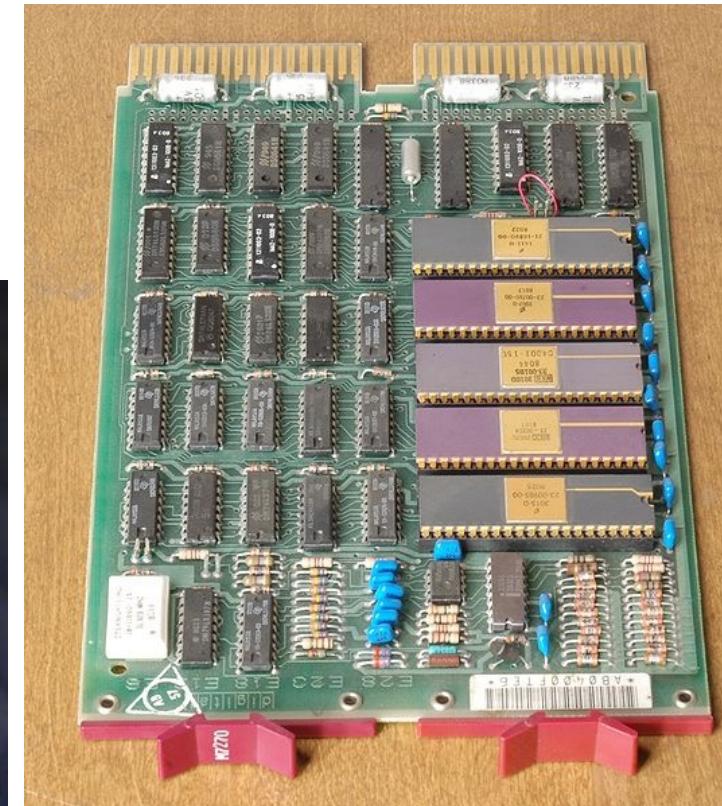
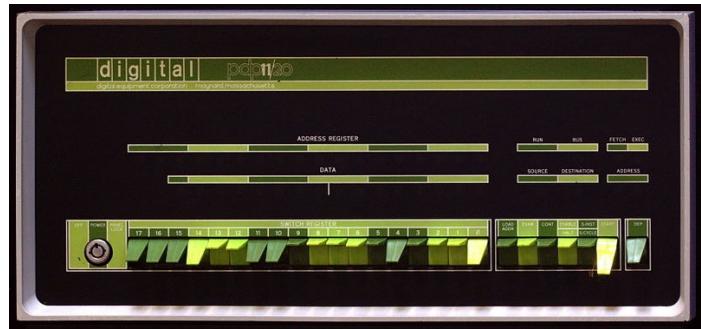
Miniračunari – otvorena arhitektura

- upravljanje industrijskim procesima
- povezivanje sa raznim uređajima
 - nezavisna proizvodnja uređaja, raznovrsne primene
- otvorena arhitektura (engl. *open architecture*)
 - sabirnica povezuje sve komponente
 - potpuna specifikacija sabirnice se publikuje
 - proizvodnja sopstvenih kontrolera
 - kupovina komponenti od raznih proizvođača

Arhitektura računara III generacije

Miniračunari – otvorena arhitektura

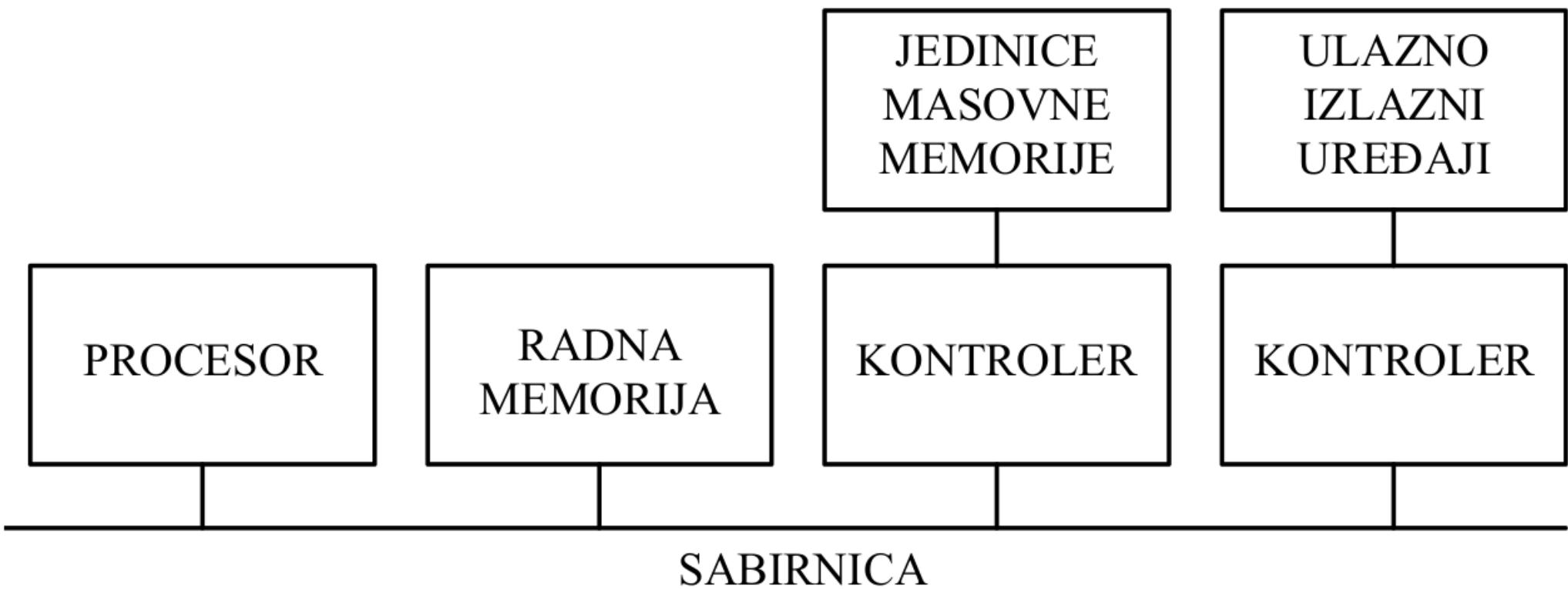
- PDP-11 (engl. *Programmed Data Processor*) – sabirnica Unibus
 - postavio DEC u poziciju vodećeg proizvođača miniračunara



Arhitektura računara III generacije

Miniračunari – otvorena arhitektura

- sabirnica: upravljačke, adresne i linije podataka
- masovna memorija: magnetni diskovi i trake
- U/I: bušene kartice, štampači, terminali



Arhitektura računara III generacije

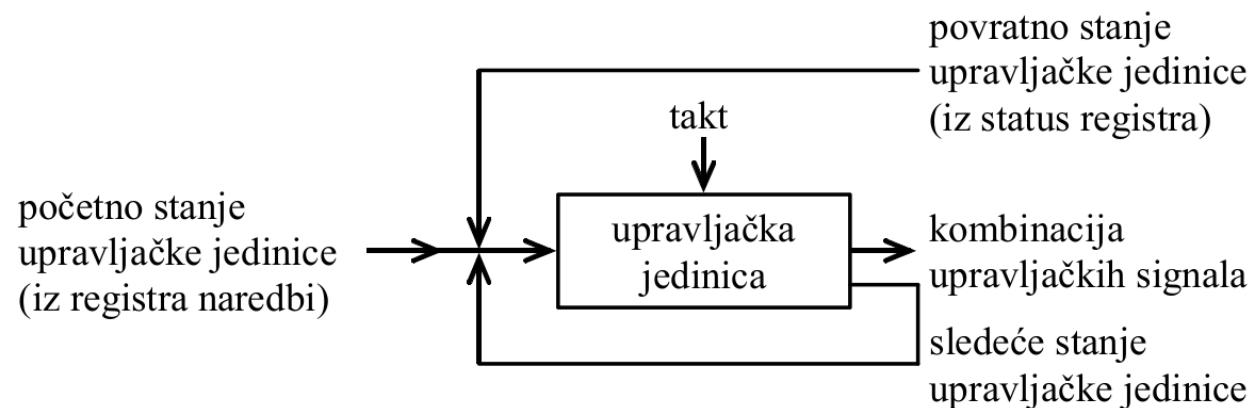
Produktivnost programera

- **vreme programera** postaje **dragocenije od vremena računara**
- ponovno uvođenje **interaktivnog rada**
 - automatizacija upravljanja računarom
 - automatizacija upravljanja memorijom
- proširenje arhitekture naredbi radi prilagođavanja programskim jezicima visokog nivoa

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi

- proširenje skupa naredbi
- podrška većeg broja tipova podataka
- povećanje broja raspoloživih adresiranja
- ortogonalnost (nezavisnost) naredbi i adresiranja
- CISC (engl. *Complex Instruction Set Computer*)
- direktno pravljenje upravljačke jedinice sa integriranim kolima praktično nemoguće

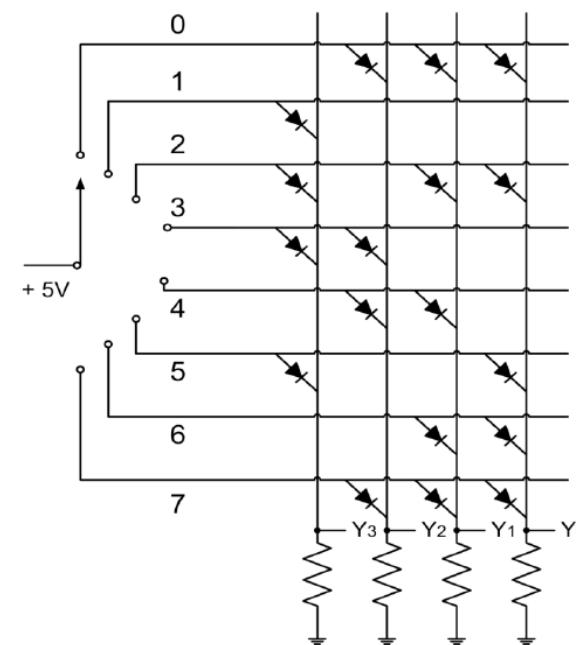


Arhitektura računara III generacije

Mikro-programiranje

- CISC koristi mikroprogramsку upravljačku jedinicu
- vreme pristupa mikroprogramskoj memoriji određuje dužinu ciklusa procesora
- predložio još 1951. Maurice Wilkes (Kembridž), prvi put upotrebljena u IBM 360/370
 - ROM kao diodna matrica

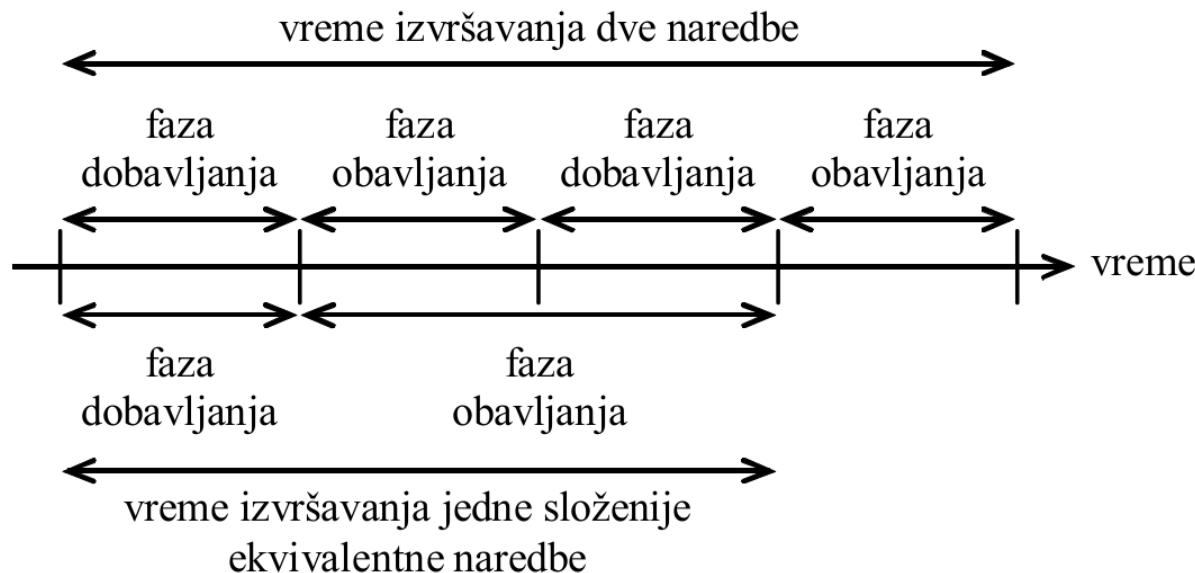
Address	Nibble
0	0111
1	1000
2	1011
3	1100
4	0110
5	1001
6	0011
7	0111



Arhitektura računara III generacije

Mikro-programiranje

- izmenom mikroprograma se menja funkcionalnost
 - **emulacija** – interpreter mašinskih naredbi jednog računara u obliku mikro-programa na drugom
- bolje iskorišćenje procesorskog vremena
 - manje pristupa memoriji zbog složenijih naredbi i adresiranja (magnetna memorija oko 10 puta sporija od CPU)



Arhitektura računara III generacije

Promenljivi formati mašinskih naredbi

- radna memorija je bila ograničena brzinom i kapacitetom
- dužina naredbe zavisi od same naredbe i broja i vrste njenih operanada

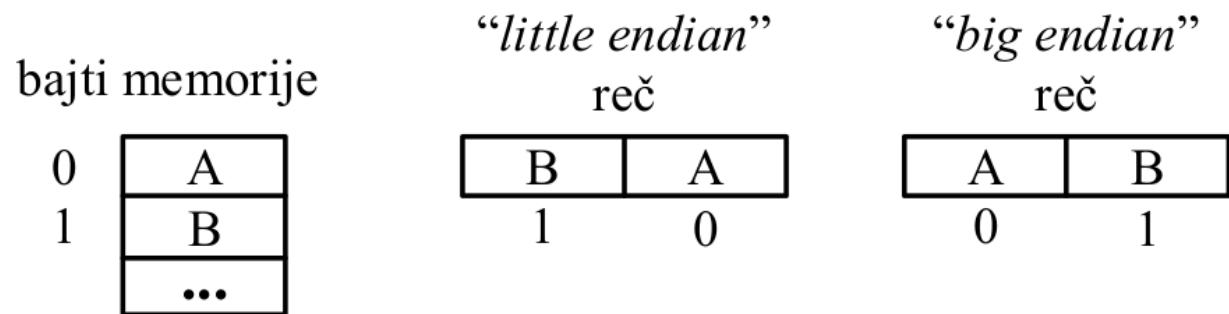
Pristup adresiranju

- IBM – adresiranje vezano za kod naredbe
- DEC – adresiranje posebno kodirano u delu koda naredbe (ortogonalnost)
- arhitektura registara opšte namene (engl. *general purpose registers architecture*)

Arhitektura računara III generacije

Organizacija radne memorije

- memorija podeljena na bajte (8 bitova)
- adresiranje reči



Slika 10.1.5 Dva načina organizovanja bajta u reči

- little endian - DEC, big endian - IBM
 - problem prenosa podataka

Memorijski preslikani U/I (engl. memory-mapped input output)

- prednosti i mane?

Arhitektura računara III generacije

Multiprogramiranje

- istovremeni rad procesora i kontrolera (engl. *SPOOLing - Simultaneous Peripheral Operation On Line*)
 - mehanizam prekida postaje opšteprisutan
- CPU se može držati zaposlenim ako u memoriji istovremeno postoji više raznih slika procesa
 - preključivanje (engl. *context switch*)
 - stanja procesa: spreman, aktivan, čeka
- mehanizmi zaštite memorije – logički i fizički adresni prostor
- stepen multiprogramiranja (broj istovremeno prisutnih slika procesa) zavisi od kolicine memorije

Arhitektura računara III generacije

Multiprogramiranje

- **podela vremena** (engl. *timesharing*) - ravnomerna raspodela CPU vremena
- prekidi u pravilnim vremenskim intervalima
- više znakovnih terminala na jednom računaru
- interaktivni rad
- podela računara i periferija između više korisnika
- početak međusobne saradnje korisnika

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

- **lokalnost izvršavanja programa**
 - približno 90% vremena se troši na oko 10% naredbi
 - slično za memoriju sa podacima
- **prostorna lokalnost** (engl. *spatial locality*)
 - uzastopne adrese obrazuju stranicu (engl. *page*)
- **vremenska lokalnost** (engl. *temporal locality*)
 - petlje – visoka verovatnoća pristupa lokacijama kojima je skoro pristupano
- u toku pojedinih perioda aktivnosti, pristupa se samo nekim stranicama koda i podataka
 - radni skup (engl. *working set*)

Arhitektura računara III generacije

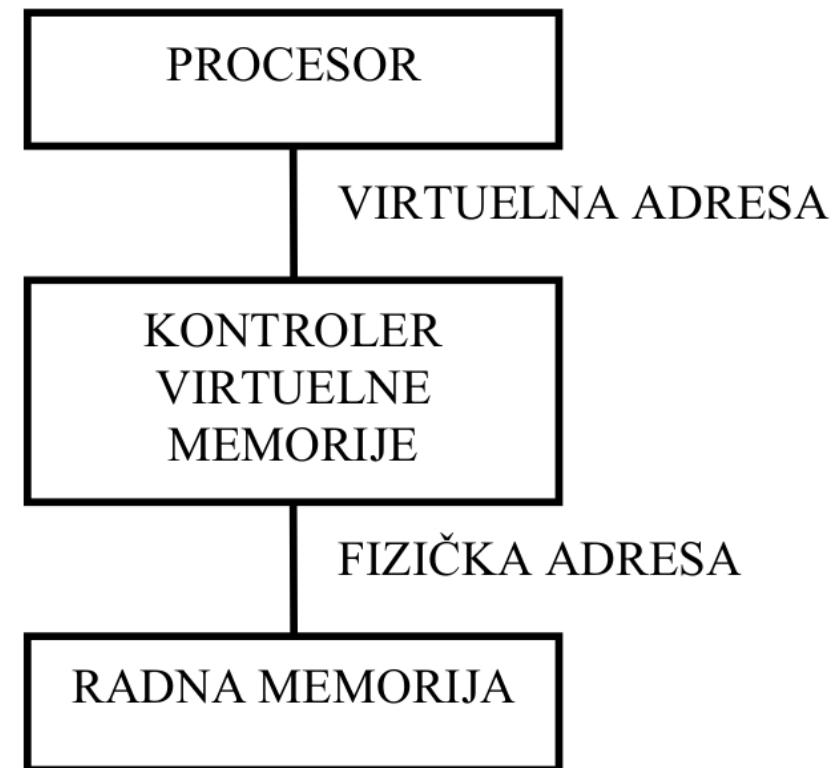
Ideja virtuelne memorije

- za aktivnost procesa je potreban samo radni skup stranica
- mogućnost prebacivanja stranica u/iz masovne memorije
- veličina slike procesa je ograničena veličinom masovne memorije
- **fizički adresni prostor** nije dovoljan da adresira sve lokacije slike procesa
- **virtuelni adresni prostor** – veličina adresa je ograničena mašinskim formatom naredbi
- virtuelni i fizički prostor - stranice iste veličine

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

- da bi CPU mogao da izvršava proces, neophodno je da je radni skup u fizičkoj memoriji
- svaka virtuelna adresa mora prvo biti pretvorena u fizičku
- **kontroler virtuelne memorije** (engl. MMU - Memory Management Unit)



Arhitektura računara III generacije

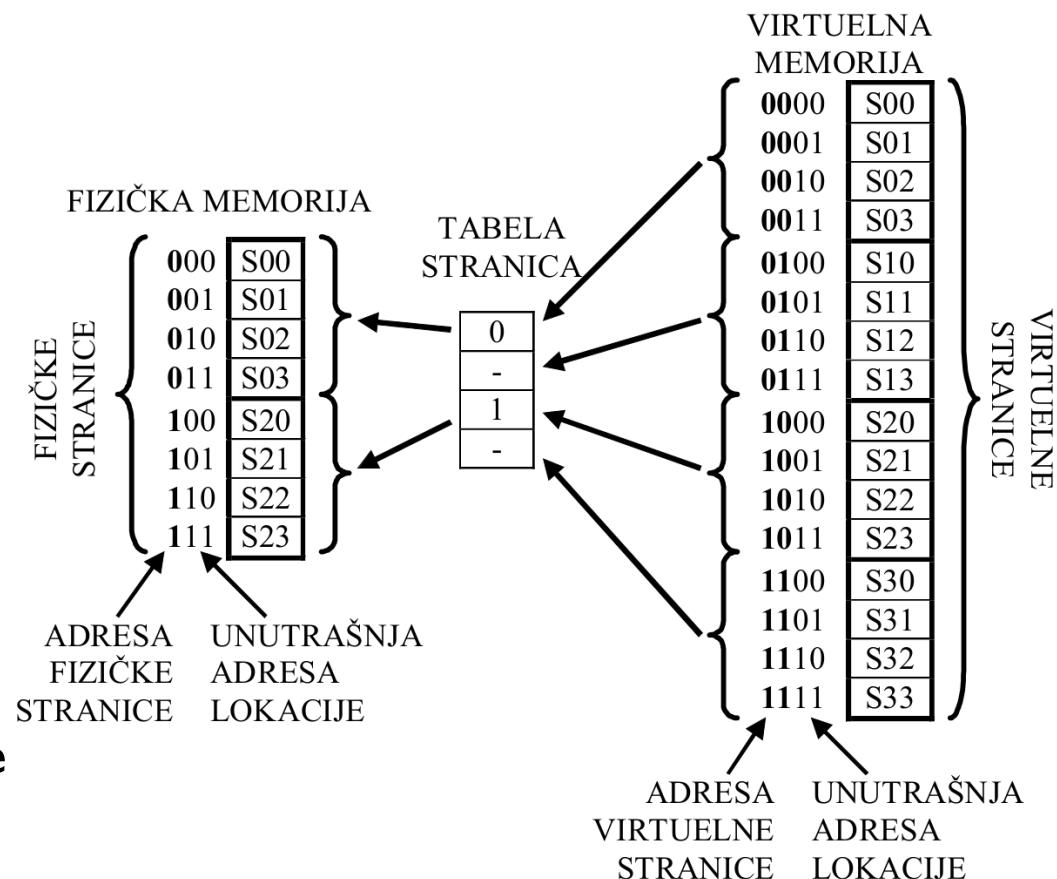
Ideja virtuelne memorije

- pretvaranje virtuelne adrese u fizičku
 - samo ako stranica postoji
 - šta ako ne postoji?
 - šta ako su sve stranice fizičke memorije popunjene?
 - šta ako je stranica izmenjena?
- evidencija o kopijama virtuelnih stranica
- **stranični prekid** (engl. *page fault*)
- **adresa** se sastoji od
 - **adrese stranice** (engl. *page number*)
 - **unutrašnje adrese** (engl. *offset*)

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

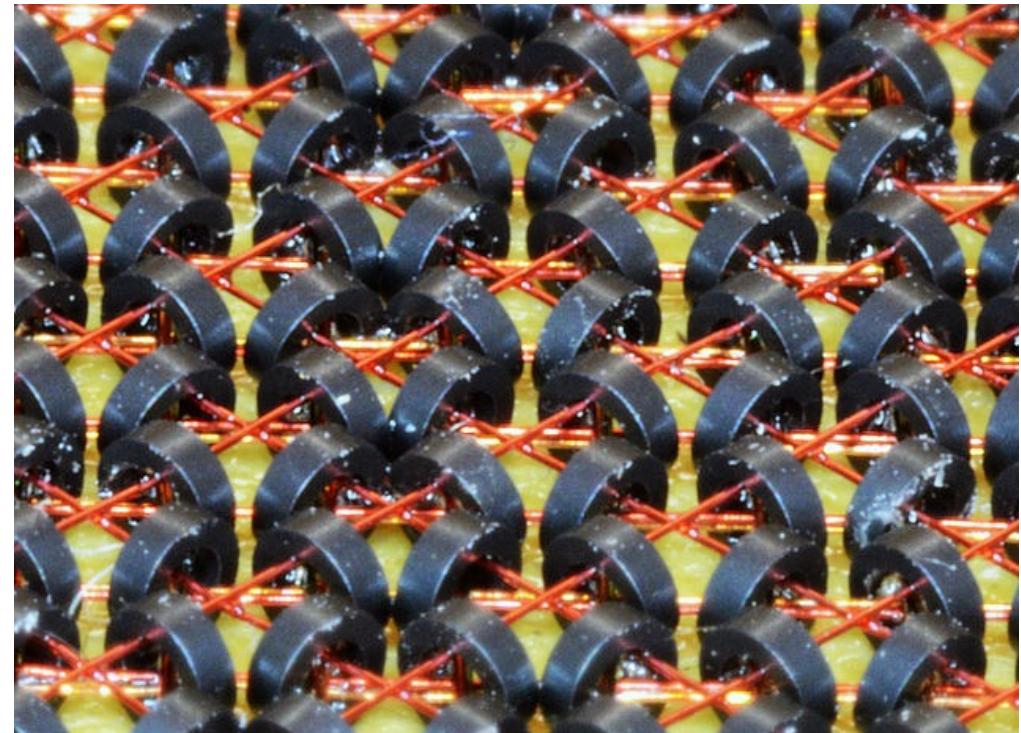
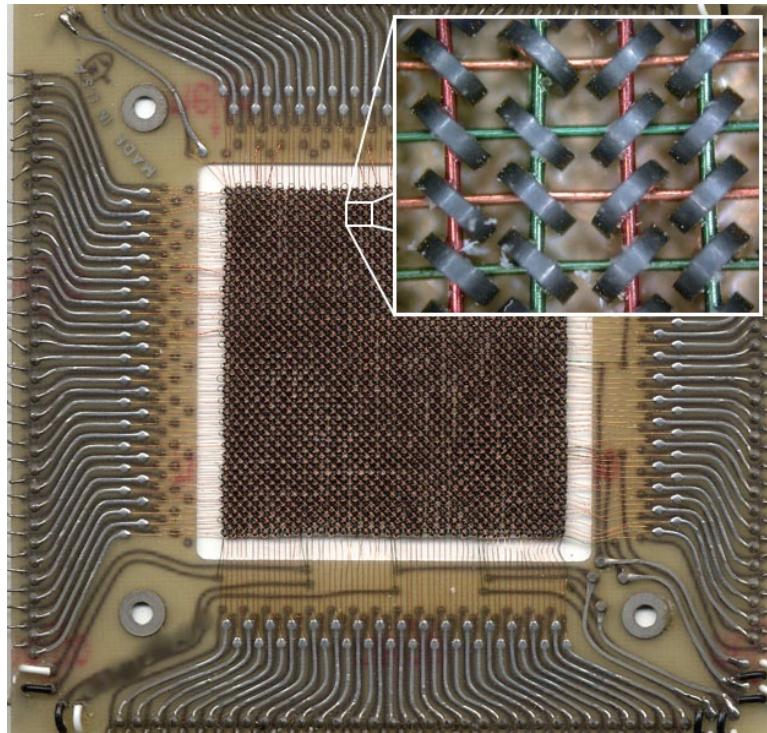
- unutrašnja adresa ostaje ista, adresa virtuelne stranice se menja adresom fizičke stranice
- **tabela stranica** (engl. *page table*)
 - broj elemenata odgovara broju virtuelnih stranica
 - sadrži adresu fizičke stranice ili oznaku da je na disku



Arhitektura računara III generacije

Memorija sa magnetnim jezgrima dugo korišćena

- vojne primene
- primene u svemirskim programima



Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

- Virtuelna memorija usporava procesor
 - pristup disku
 - tabela stranica
- Poluprovodnička memorija i dalje skuplja od magnetnih jezgara
 - mala količina za smeštanje dela tabele stranica
- **Asocijativna memorija** (engl. *associative memory*) – unutar kontrolera
 - sadrži adrese fizičkih stranica, ali i odgovarajuće virtuelne adrese

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

Asocijativna memorija

- provera da li se tu nalazi virtuelna adresa – pristup po sadržaju
- Alternativni engleski termin: *translation lookaside buffer* – TLB
- osobine lokalnosti idu na ruku

DVOBITNE ADRESE VIRTUELNIH STRANICA	JEDNOBITNE ADRESE KORESPONDENTNIH FIZIČKIH STRANICA
--	--

00	0
10	1

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

- Asocijativna memorija
 - adresa fizičke stranice se najčešće tu nalazi
 - šta ako se ne nalazi?
 - ako je verovatnoća pogotka (engl. *hit*) 0.9, prosečno vreme pristupa:
 - $0.9 \times 1 + 0.1 \times 10 = 1.9$
- Automatizacija memorijske hijerarhije
- Poboljšana međusobna zaštita programa
 - privilegovani režim rada

Arhitektura računara III generacije

Ideja virtuelne memorije

- Potreba za radnom memorijom
 - velikog kapaciteta
 - kratkog vremena pristupa
 - niske cene
- Dobijen veliki kapacitet i kratko srednje vreme pristupa po pristupačnoj ceni

$$0.9999 \times 10 + 0.0001 \times 10000 = 10.999$$

Arhitektura računara III generacije

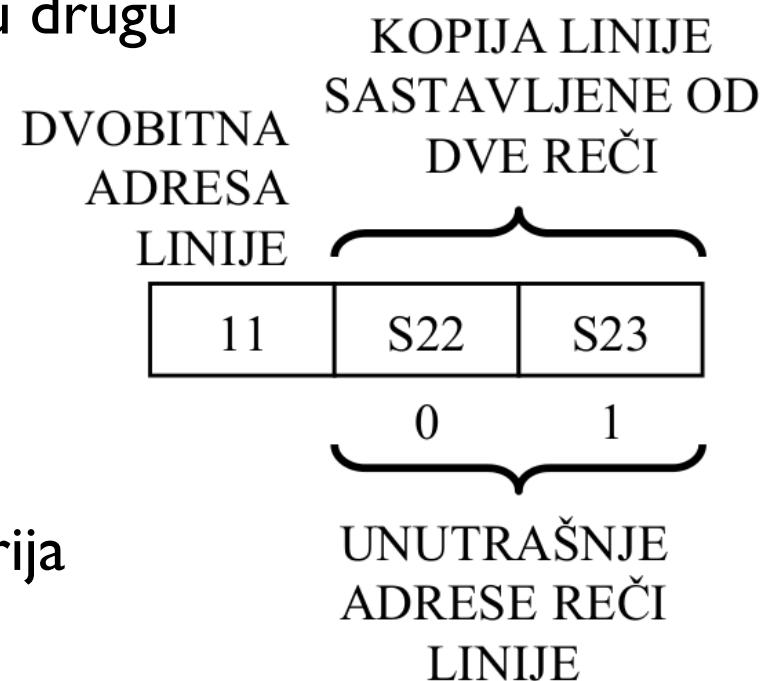
Ideja skrivene memorije (engl. cache)

- Slična ideji virtuelne memorije
- Memorijska hijerarhija
 - brza (skupa) poluprovodnička memorija
 - sporija (jeftina) magnetna radna memorija
 - skraćenje srednjeg vremena pristupa na osnovu lokalnosti
- Ne zahteva izmene programa
- Podela radne i skrivene memorije na linije (engl. *cache lines*)
 - više uzastopnih memorijskih lokacija

Arhitektura računara III generacije

Ideja skrivene memorije

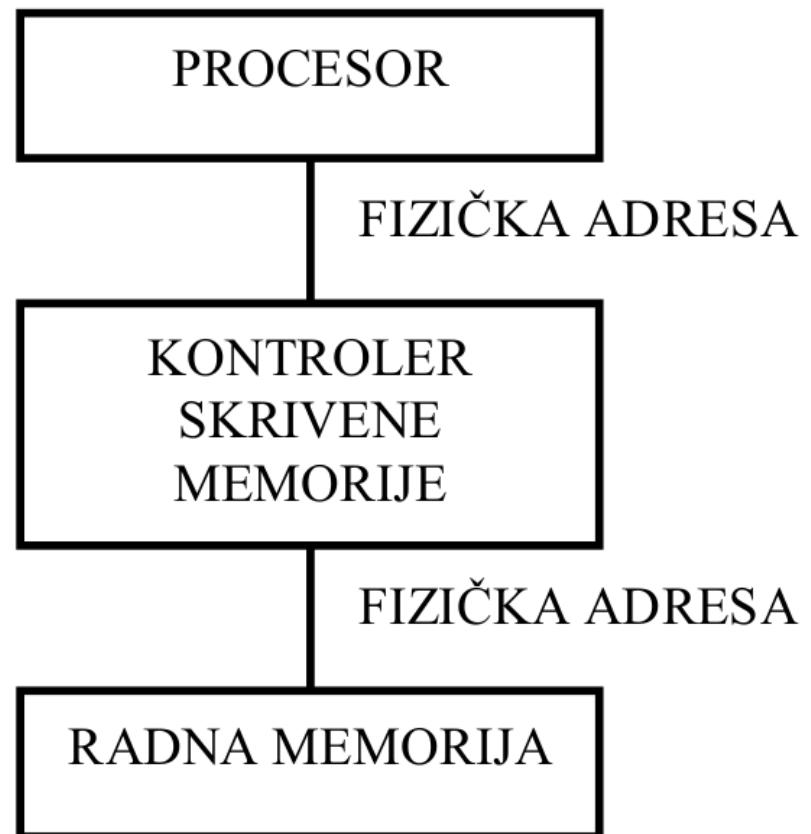
- Prebacivanje linija iz jedne memorije u drugu
- Podela adrese
 - adresa linije (engl. *line number*)
 - unutrašnja adresa (engl. *offset*)
- Organizovana kao asocijativna memorija



Arhitektura računara III generacije

Ideja skrivene memorije

- Provera da li adresa linije postoji
- Šta ako ne postoji?
- **Kontroler skrivene memorije**
(engl. *cache controller*) – keš kontroler



Arhitektura računara III generacije

Odnos virtuelne i skrivene memorije

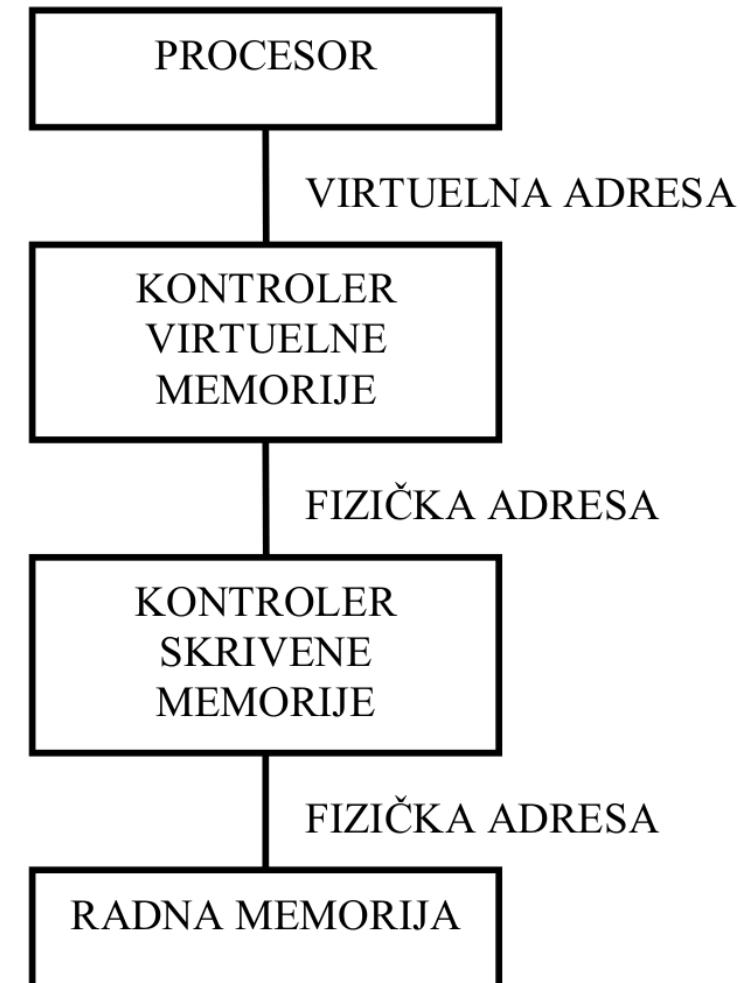
- Prilična sličnost u principijelnoj organizaciji
- Mogu se kombinovati
- Skraćenje srednjeg vremena pristupa virtuelnoj memoriji

Virtuelna memorija

- 1961 – John Fotheringham
- 1970 – IBM 370

Skrivena memorija

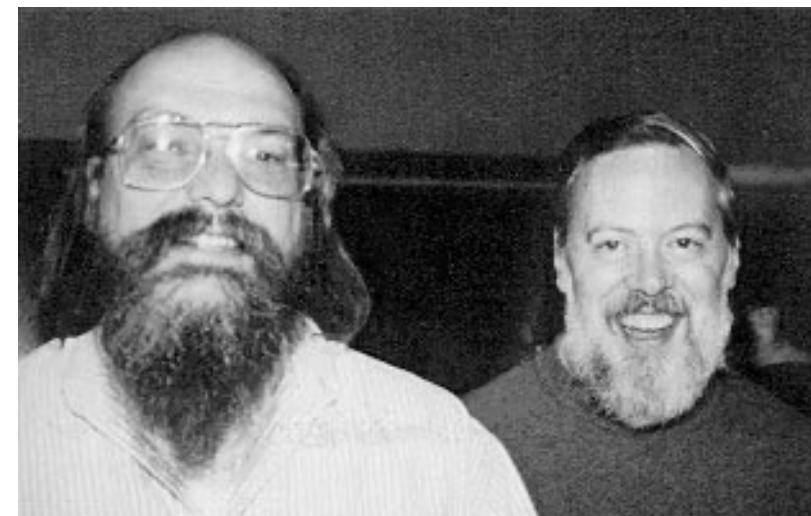
- 1965 – Maurice Wilkes (Kembridž)
- 1968 – IBM 360



Arhitektura računara III generacije

Operativni sistem i virtuelna mašina

- Multiprogramiranje, interaktivni rad, virtuelna memorija
 - složeni operativni sistemi
- Pojava sistema datoteka (engl. *file system*)
- Praćenje korišćenja računara (naplata)
- Virtuelna mašina
 - radno okruženje (OS, interpreter, sistemski programi)
 - privid da korisnik ima računar za sebe
- UNIX (Ken Thompson, Dennis Ritchie)
 - Programski jezik C



Arhitektura računara III generacije

- Radna memorija
 - Osnovna jedinica postaje **bajt**
 - Adresiranje po rečima
 - veličine registara procesora
 - **Primarne reči** (engl. *aligned words*)
 - **Sekundarne reči** (engl. *non-aligned words*)
- **Nedostaci** arhitekture računara III generacije:
 - nepredvidivost odziva u interaktivnom radu, zavisi od broja i vrste procesa

	ADRESE SEKUNDARNIH REČI	ADRESE PRIMARNIH REČI
1	bajt 1	bajt 0
3	bajt 3	bajt 2
5	bajt 5	bajt 4
	bajt 7	bajt 6
	...	

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi IBM SYSTEM/360

- Adresni prostor od 24 bita (16 MB), po bajtima
- Pristup samo po primarnim rečima
- Rad sa:
 - 1, 2 ili 4-bajtnim celim vrednostima
 - 8-bajtnim realnim vrednostima
 - binarno kodiranim decimalnim ciframa (engl. *packed decimal*)
 - nizovima znakova (engl. *string*)
- Registri:
 - 16 od po 32 bita (opšte namene)
 - 4 od po 64 bita (realni brojevi)
 - status registar (programski brojač i uslovni biti)

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi IBM SYSTEM/360

- Privilegovani režim rada
- Vrste adresiranja:
 - neposredno
 - registarsko
 - indeksno
 - kombinacije
- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - register-register: $R1 = RI \text{ OP } R2$

8 bita kod nar.	4 bita R1	4 bita R2
--------------------	--------------	--------------

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi IBM SYSTEM/360

- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - register-indexed: $RI = RI \text{ OP } R2+R3+\text{odstojanje}$

8 bita kod nar.	4 bita R1	4 bita R2	4 bita R3	12 bita odstojanje
--------------------	--------------	--------------	--------------	-----------------------

- register-storage: $RI = R3+\text{odstojanje } OP \text{ R2}$

8 bita kod nar.	4 bita R1	4 bita R2	4 bita R3	12 bita odstojanje
--------------------	--------------	--------------	--------------	-----------------------

- storage-immediate: $RI+\text{odstojanje} = \text{vrednost}$

8 bita kod nar.	8 bita vrednost	4 bita R1	12 bita odstojanje
--------------------	--------------------	--------------	-----------------------

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi IBM SYSTEM/360

- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - storage-storage: $R1+odst1 = R1+odst1 \text{ OP } R2+odst2$*

8 bita kod nar.	8 bita dužina	4 bita R1	12 bita odstojanje1	4 bita R2	12 bita odstojanje2
--------------------	------------------	--------------	------------------------	--------------	------------------------

- Sve naredbe ne koriste sva polja na isti način
 - upravljačke su u RX formatu
 - R1 - uslov
 - programska brojač = R2+R3+odstojanje

8 bita kod nar.	4 bita R1	4 bita R2	4 bita R3	12 bita odstojanje
--------------------	--------------	--------------	--------------	-----------------------

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi IBM SYSTEM/360

- 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
- Sistemske naredbe
- Ulazno-izlazne naredbe

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- Privilegovani režim rada
- Vrste adresiranja
 - registarsko adresiranje
 - posredno adresiranje sa samouvećanjem
 - posredno adresiranje sa samoumanjenjem
 - indeksno adresiranje
 - posredno adresiranje
 - dvostruko posredno adresiranje sa samouvećanjem
 - dvostruko posredno adresiranje sa samoumanjenjem
 - indeksno posredno adresiranje
- Sva adresiranja se oslanjanju na registre
 - programski brojač je registar opšte namene

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- Neposredno adresiranje: kombinovanje programskog brojača sa posrednim adresiranjem sa samouvećanjem
- Apsolutno adresiranje: kombinovanje programskog brojača sa dvostruko posrednim adresiranjem sa samouvećanjem
- Relativno adresiranje: kombinovanje programskog brojača sa indeksnim adresiranjem
- Relativno posredno adresiranje: kombinovanje programskog brojača sa indeksnim posrednim adresiranjem

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - sa jednim operandom

10 bita kod naredbe	3 bita kod oper.	3 bita kod registra
------------------------	---------------------	------------------------

- sa dva operanda
 - $\text{oper2:reg2} = \text{oper1:reg1 OP oper2:reg2}$

4 bita kod naredbe	3 bita kod oper. 1	3 bita kod registra 1	3 bita kod oper. 2	3 bita kod registra 2
-----------------------	-----------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - sa jednim operandom – postavljanje uslovnih bita

12 bita kod naredbe	4 bita kod uslovnih bita
------------------------	-----------------------------

- sa dva operanda
 - reg1 ili oper2:reg2 = reg1 OP oper:reg2
 - kod poziva potprograma: reg1 povratna adresa, oper:reg2 adresa potprograma

7 bita kod naredbe	3 bita kod registra 1	3 bita kod oper.	3 bita kod registra 2

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- Promenljivi format mašinskih naredbi
 - sa jednim operandom – povratak iz potprograma

13 bita kod naredbe	3 bita kod registra
-------------------------------	-------------------------------

- sa jednim operandom – upravljačke naredbe
 - podrazumeva se relativno adresiranje

8 bita kod naredbe	8 bita relativna adresa
------------------------------	-----------------------------------

Arhitektura računara III generacije

Arhitektura naredbi DEC PDP-11

- 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 aritmetiku realnih brojeva (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
- Upravljačke naredbe
- Sistemske naredbe

Arhitektura računara III generacije

Osobine magnetnog diska

- Osnovne karakteristike
 - kapacitet
 - srednje vreme pristupa
- Formatirani kapacitet manji od neformatiranog
- Pored podataka, sadrži i:
 - prethodnica (engl. *preamble*)
 - kod za korekciju grešaka (engl. *error-correcting code, ECC*)
 - međusektorski razmak
- Srednje vreme pristupa
 - srednje vreme pomeranja (engl. *seek time*) glave
 - srednje vreme rotacije (engl. *rotational delay*) sektora
 - vreme prenosa (engl. *transfer time*) bloka do kontrolera
 - vremena kontrolera (engl. *controller time*), transfer do radne memorije

Arhitektura računara III generacije

Organizacija sabirnice

- Povezivanje organizacionih komponenti računara radi razmene podataka
- Sastoji se od:
 - linija podataka i upravljačkih linija
 - elektronike koja vrši razmenu signala
 - upravljačke logike
- **Aktivna** (engl. *bus master*) i **pasivna strana** (engl. *bus slave*)
- Razmena podataka:
 - aktivna strana zauzima sabirnicu
 - transakcija pisanja ili transakcija čitanja

Arhitektura računara III generacije

Organizacija sabirnice

- Transakcije čitanja mogu biti podeljene (engl. *split transaction*)
- **Sinhrone sabirnice** (engl. *synchronous bus*)
 - sve aktivnosti usklađene sa počecima intervala (takt)
 - aktivnosti (mogu da) traju više intervala
 - dodatni intervali
 - upravljačka linija – signal kraja transakcije
 - dužina intervala zavisi i od dužine sabirnice
 - jednostavno upravljanje
 - visoka propusnost za male dužine
 - povezivanje procesora i radne memorije

Arhitektura računara III generacije

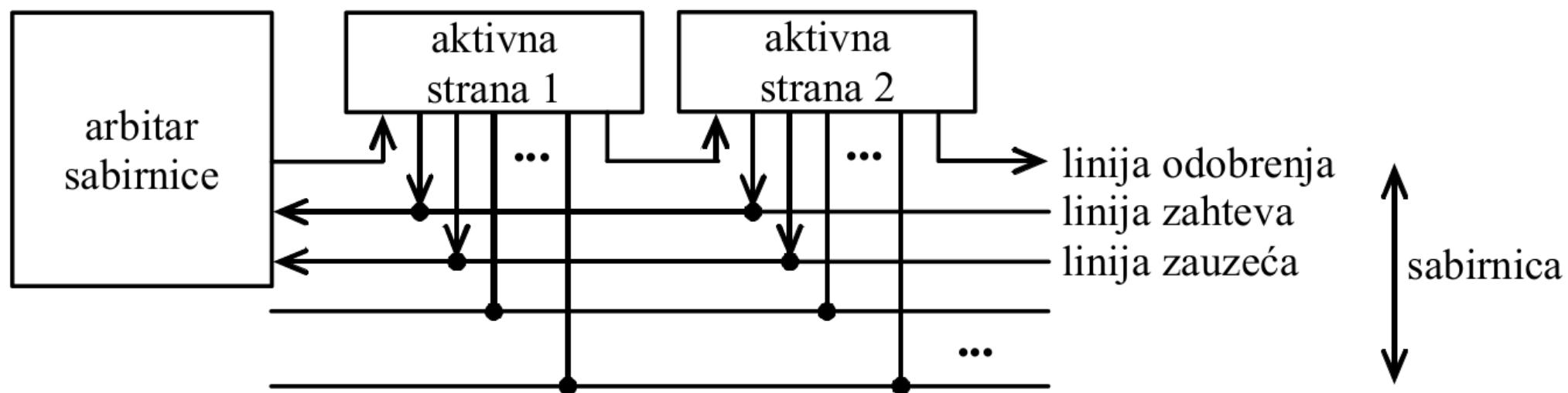
Organizacija sabirnice

- **Asinhrona sabirnica** (engl. *asynchronous bus*)
 - za veće udaljenosti (više od 1 metra)
 - dogovaranje (engl. *handshaking*)
 - posebne upravljačke linije
 - manja propusnost

Arhitektura računara III generacije

Organizacija sabirnice

- Zauzimanje sabirnice
 - arbitar sabirnice (engl. arbiter)
 - signal zahteva (engl. bus request)
 - signal odobrenja (engl. bus grant)
 - signal zauzeća (engl. bus busy)
 - serijski povezane aktivne strane (engl. daisy chaining)

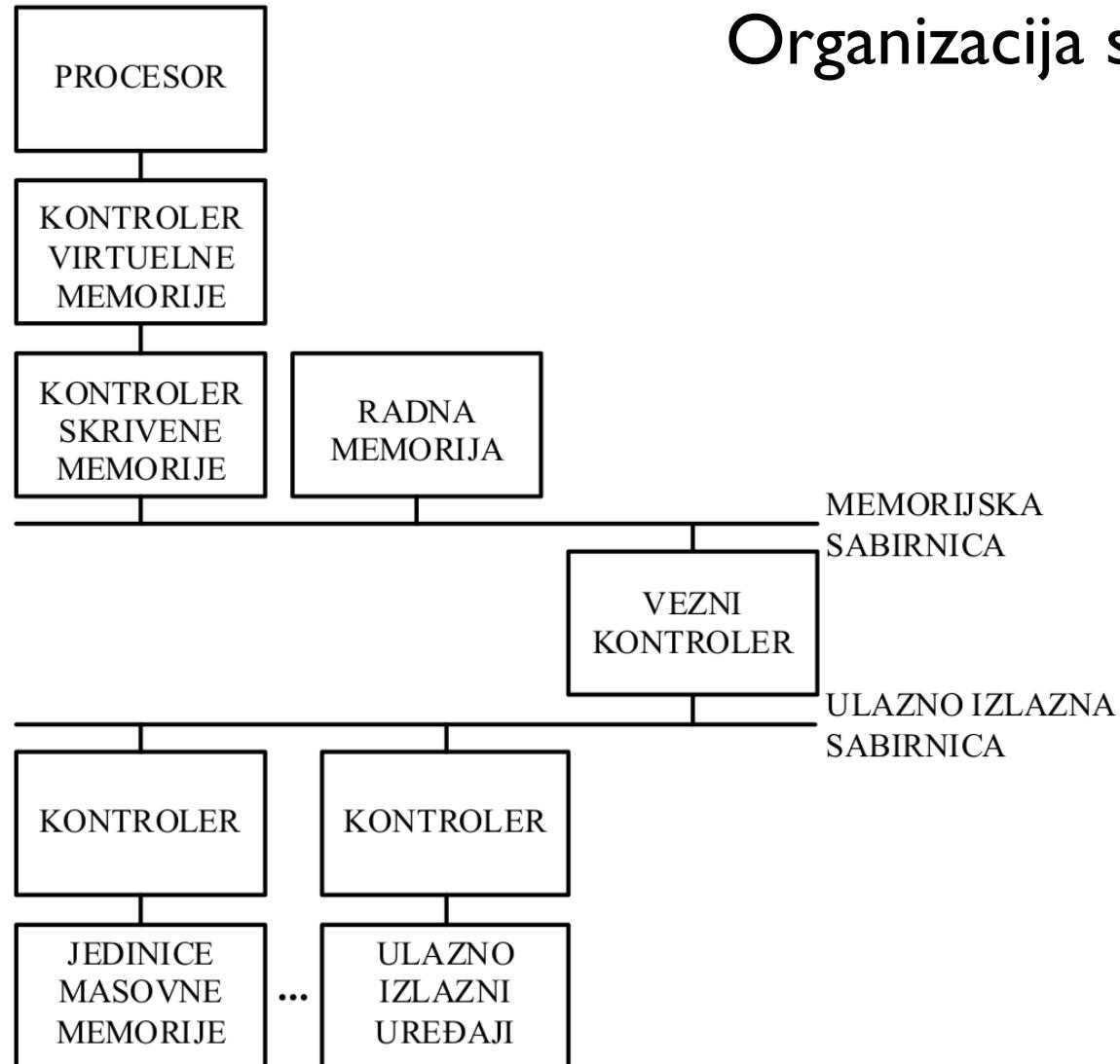


Arhitektura računara III generacije

Organizacija sabirnice

- Posebne linije za signale zahteva i odobrenja (engl. *independent requesting*)
- Grupni prenos podataka (engl. *multiple word*)
- Vremensko multipleksiranje
 - broj linija i propusnost
- Osnovni tipovi:
 - memorijske sabirnice
 - ulazno-izlazne sabirnice
 - sistemske sabirnice
 - kod mini računara samo sistemske, kod velikih računara i memorijske i ulazno-izlazne

Arhitektura računara III generacije



Arhitektura računara III generacije

Organizacija asocijativne memorije

- **Brzo pronalaženje sadržaja**

- fizička adresa
 - linija

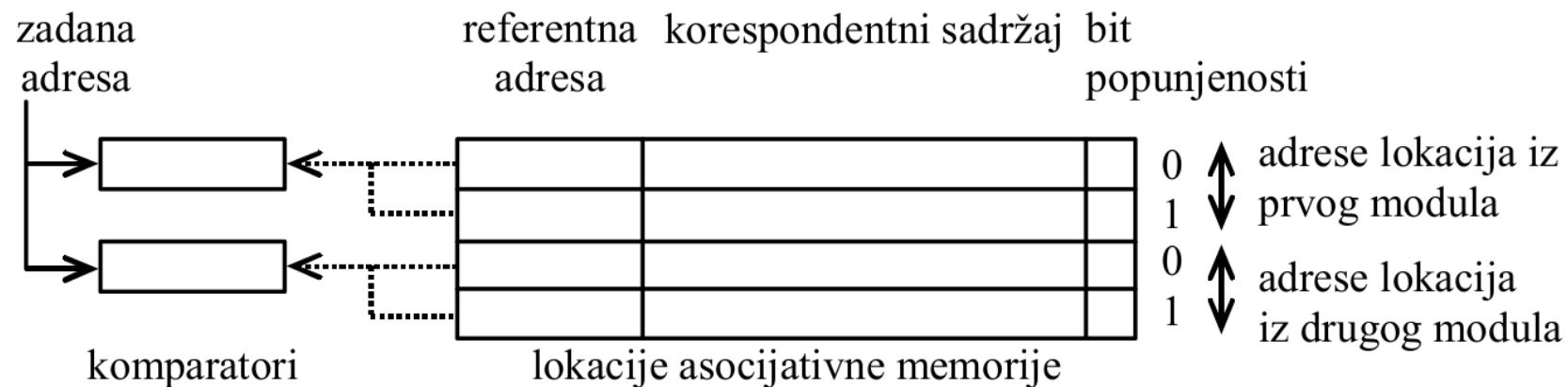


- **Puna asocijativnost** (engl. *full associativity*)
 - istovremeno poređenje sa svim referentnim adresama
 - Pogodak i promašaj, formira se lista radi izbacivanje sadržaja sa najstarijom porukom (engl. *least recently used – LRU*)

Arhitektura računara III generacije

Organizacija asocijativne memorije

- **Dvostruka asocijativnost** (engl. 2-way set-associativity)

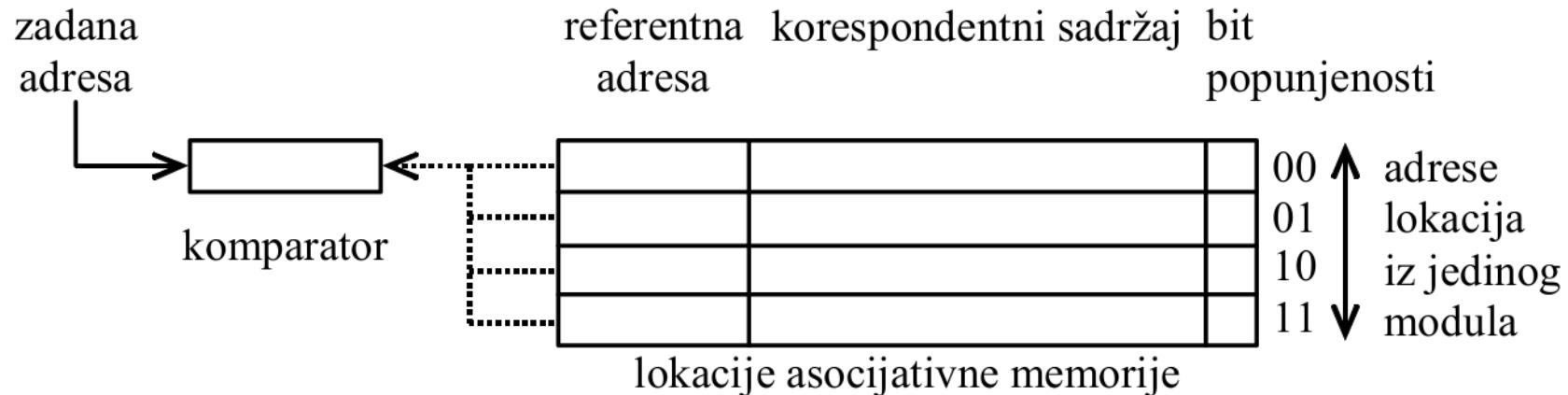


- Poređenje sa samo jednom (prvom) adresom iz modula
- Sve adrese koje se završavaju sa “0” čine jedan skup

Arhitektura računara III generacije

Organizacija asocijativne memorije

- **Jednostruka asocijativnost** (engl. *1-way set-associativity, directly mapped*)



- Asocijativnost se može povećavati (od jednostrukih do punih)
- Četvorostruka je praktičan prag
- Realizuje se najbržim raspoloživim tehnologijama

Arhitektura računara III generacije

Skrivena memorija (keš)

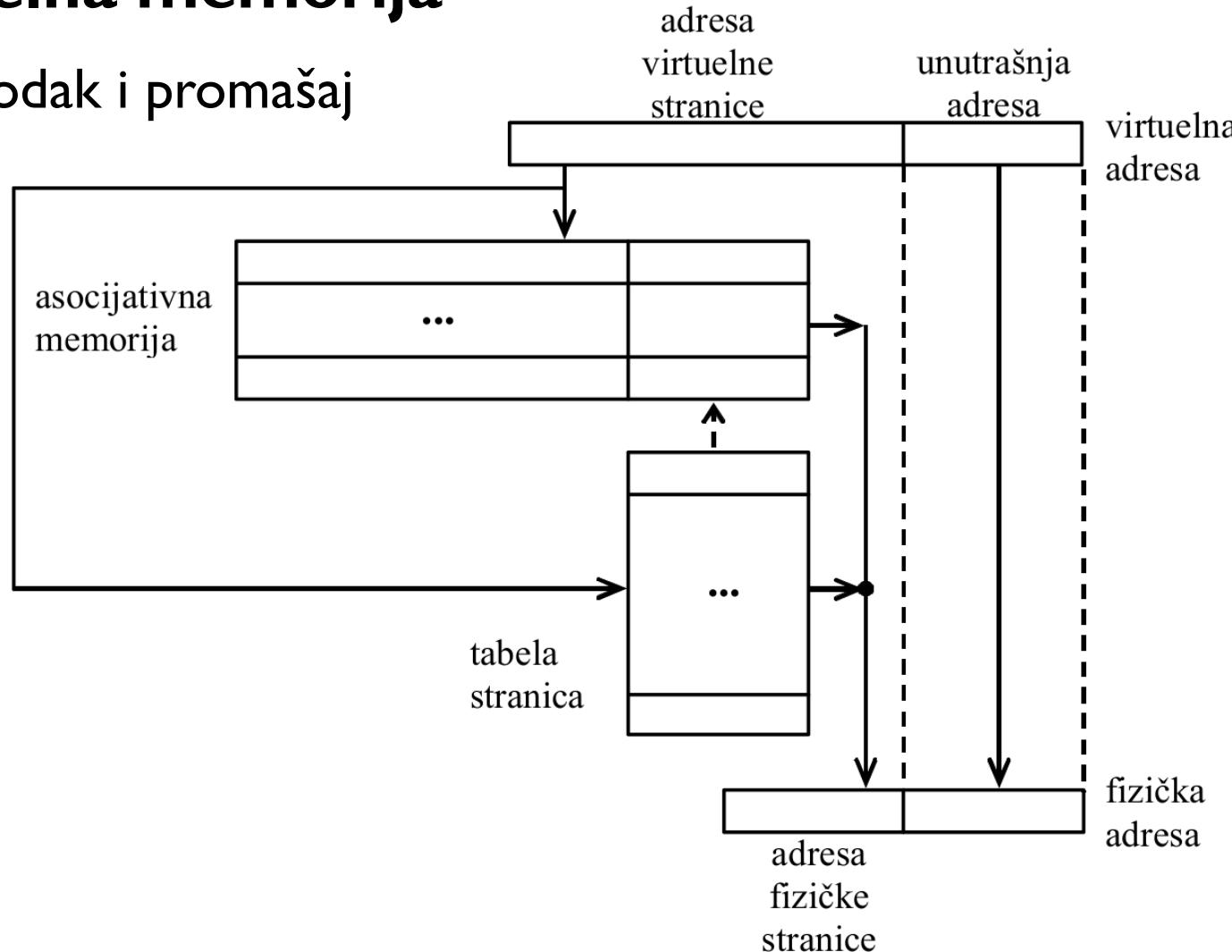
- Verovatnoća pogotka > 0.8, za vreme pristupa 2/10 ciklusa (keš/radna memorija)
 - Verovatnoća 0.9 -> 2.8 ciklusa
 - Verovatnoća 0.7 -> 4.4 ciklusa
- Promašaj traje višestruko duže
- Nije kompatiblna sa memorijski-mapiranim U/I, DMA, multi-core?

čitanje	za pogodak	iz asocijativne memorije	
	za promašaj	iz radne memorije, uz ažuriranje asocijativne memorije	
pisanje	za pogodak	u asocijativnu memoriju	uz odlaganje pisanja u radnu memoriju <i>(write back)</i>
			uz pisanje u radnu memoriju <i>(write through)</i>
	za promašaj	u radnu memoriju	uz ažuriranje asocijativne memorije <i>(write allocate)</i>
			bez ažuriranja asocijativne memorije <i>(write around)</i>

Arhitektura računara III generacije

Virtuelna memorija

- Pogodak i promašaj



Arhitektura računara III generacije

Virtuelna memorija

- Tabela stranica
 - bit popunjenošti
 - bit izmenjenosti (engl. *modify bit, dirty bit*)
 - bit referenciranja (engl. *reference bit*)
 - referencirana, izmenjena
 - referencirana, neizmenjena
 - nereferencirana, izmenjena
 - nereferencirana, neizmenjena
 - bit zabrane prebacivanja
- Odnos veličine adresnog prostora i veličine stranice
 - 32 bita, 512 bajta (2^9) – 2^{23} elemenata – 32 MB za 4-bajtni element

Arhitektura računara III generacije

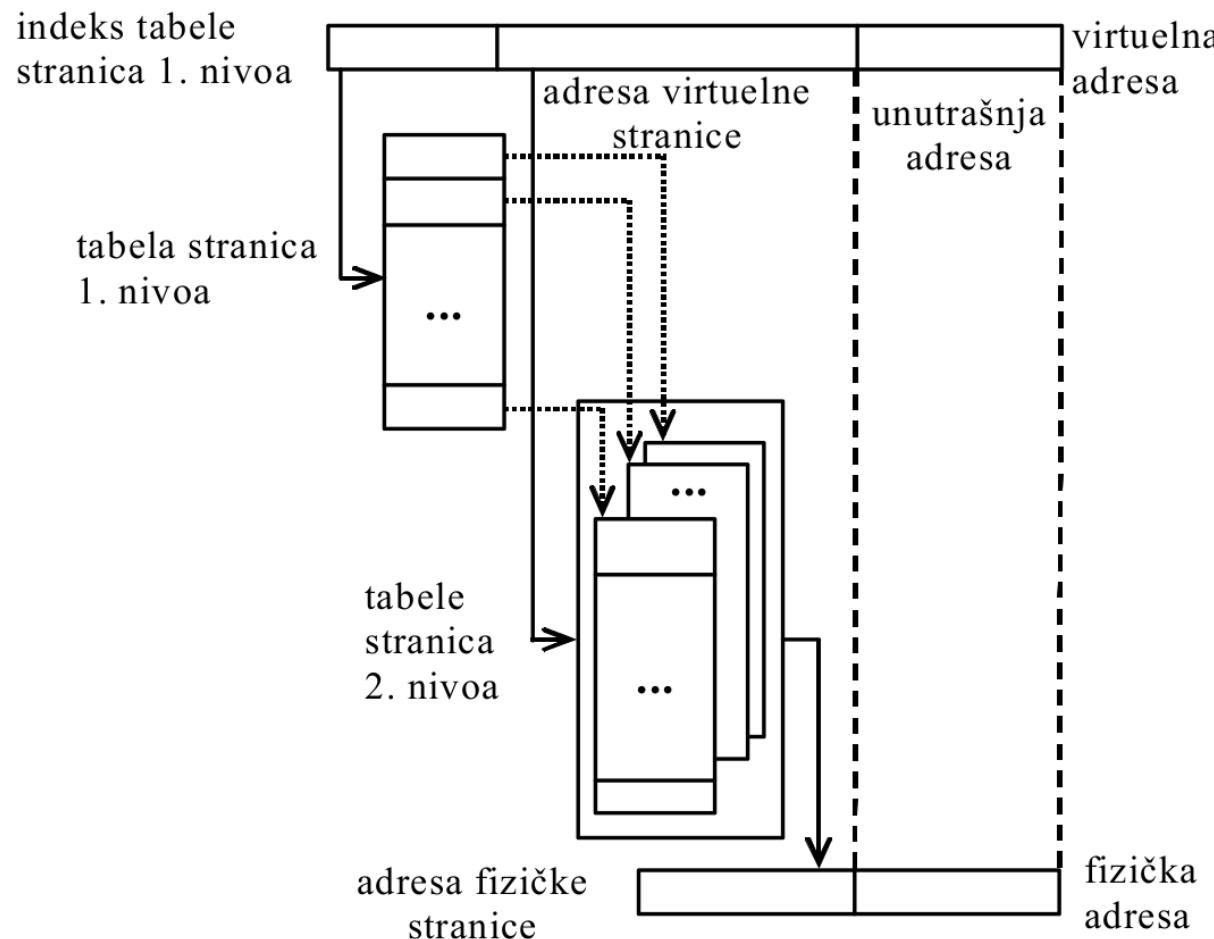
Virtuelna memorija

- 32 MB za tabelu stranica je bilo puno za računare treće generacije sa multiprogramiranjem
 - Povećanje veličine stranice?
- Držanje samo dela tabele stranica u radnoj memoriji
 - Podela tabele na odsečke
 - Dodatna tabela sa podacima o tome koji odsečci su u memoriji
- Tabela stranica u dva nivoa
 - U memoriji samo manji deo kompletne tabele stranica

Arhitektura računara III generacije

Virtuelna memorija

- Tabela stranica u dva nivoa



Arhitektura računara III generacije

Memorijska hijerarhija

- Što više memorije sa što kraćim srednjim vremenom pristupa:
 1. registri procesora (abajti)
 2. skrivena memorija (kilobajti)
 3. radna memorija (megabajti)
 4. masovna memorija
- Prebacivanje sa nižeg na viši nivo:
 - $2(3) \rightarrow 1$ – kompjuter
 - $3 \rightarrow 2$ – kontroler skrivene memorije
 - $4 \rightarrow 3$ – kontroler virtuelne memorije, operativni sistem

Arhitektura računara III generacije

Memorijska hijerarhija

- Mala linija/stranica
 - ne može da obuhvati prostornu lokalnost
 - puno promašaja
- Velika linija/stranica
 - malo ih staje u radnu memoriju
 - puno promašaja
- Linija 4 – 128 bajta
- Stranica 512 – 8192 bajta
- Intel x86 stranica 4 kB – 4 MB

Arhitektura računara III generacije

Problem sinhronizacije

- Brza reakcija na spoljašnje događaje
- Obradivač prekida i pozadinski proces, deljeni buffer
- Šta ako se desi novi prekid dok traje obrada pozadinskog procesa?
 - kurzor na (0,0)
 - čitanje pozicije, prekid nakon čitanja prve koordinate
 - kurzor na npr. (0,1) umesto (1,1)
- Rešenje – zabrana prekida

Arhitektura računara III generacije

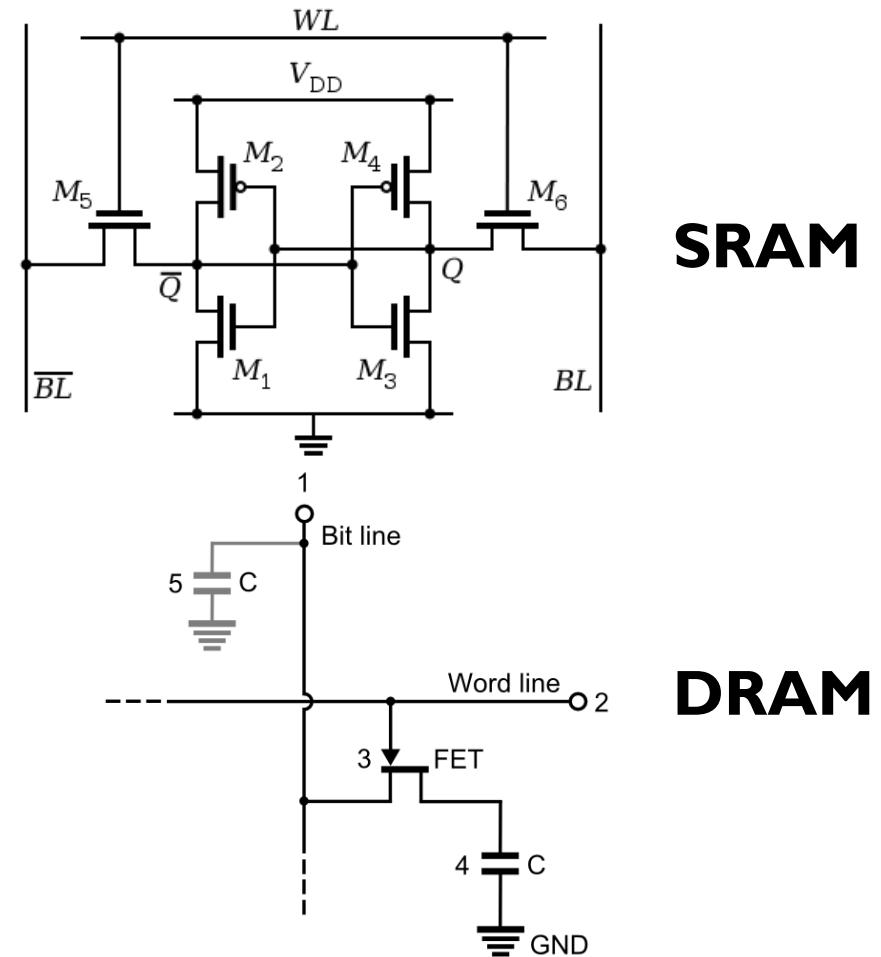
Problem sinhronizacije

- Sličan problem kod deljenih resursa za više procesa
 - dva procesa i štampač
- Zauzimanje i oslobođanje deljenog resursa
 - zaustavljanje procesa
- Stanje resursa
 - deljena memorijska lokacija - 0/I
- Zauzimanje – upis nule, oslobođenje – upis jedinice pre zauzimanja – provera
- Provera i zauzimanje moraju biti nedeljivi
 - zabrana prekida
 - x86 – CLI, STI
 - posebna mašinska naredba
 - x86 – CMPXCHG

Evolucijski period arhitekture računara oko 1980.

Arhitektura računara IV generacije

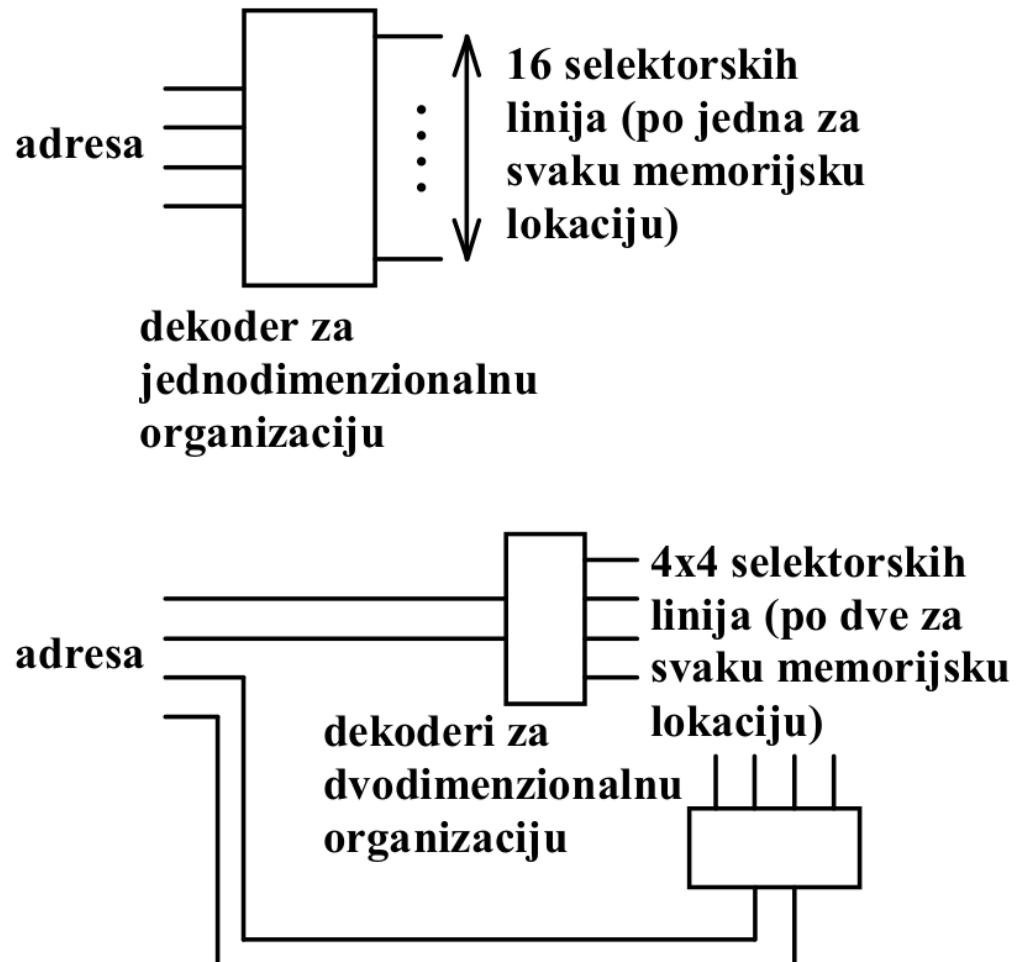
- Oko 1980. – **visoko integrisana kola** (engl. *Large Scale Integration – LSI*) i **poluprovodničke memorije**, automatizacija projektovanja i proizvodnje
- **Poluprovodničke memorije**
- RAM istisnuo magnetna jezgra
- SRAM
 - flip-flop, više tranzistora
- DRAM
 - tranzistor i kondenzator



Arhitektura računara IV generacije

Poluprovodničke memorije

- dvodimenzionalna organizacija
- DRAM
 - radna memorija
 - RAS/CAS (row/column address strobe)
 - adresiranje
- SRAM
 - skrivena memorija



Arhitektura računara IV generacije

Mikro-računari – LSI

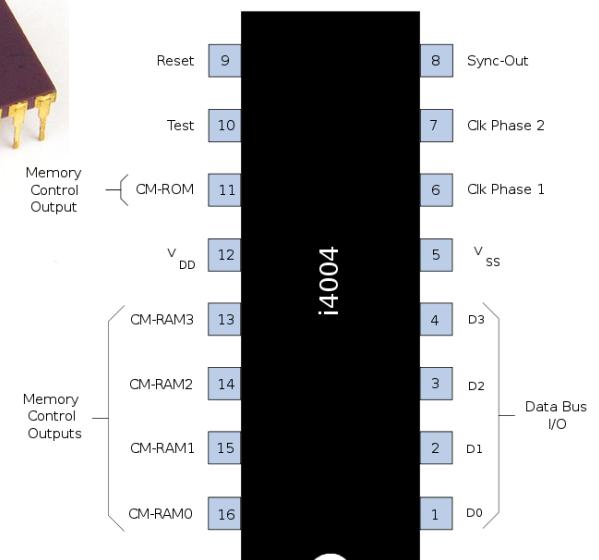
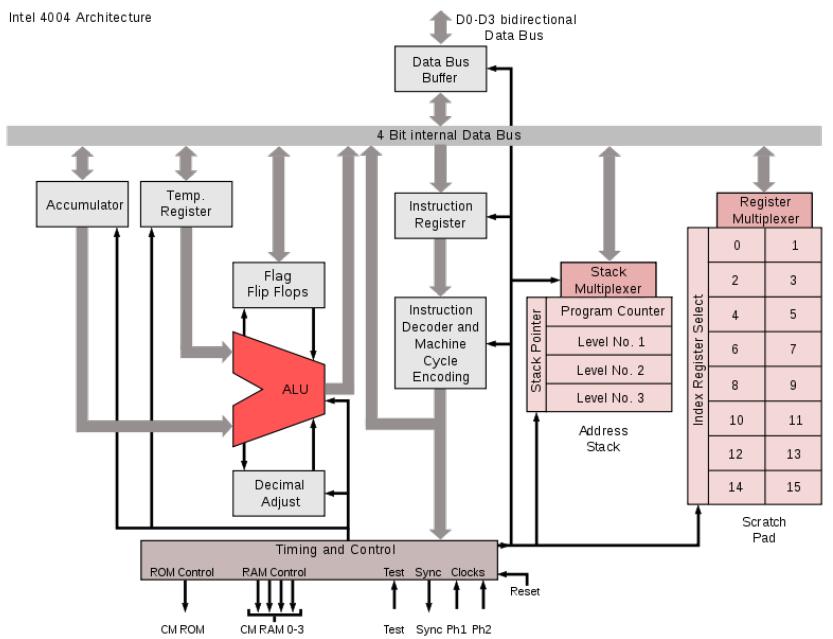
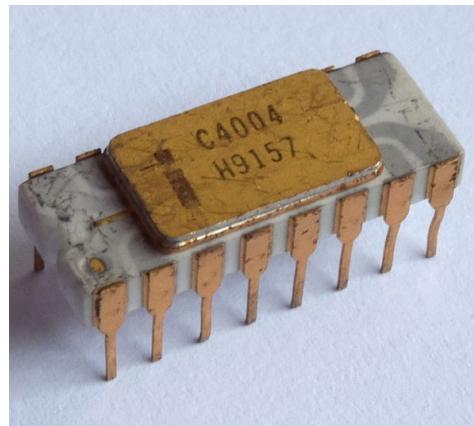
- Proširenje adresnog prostora velikih računara
 - IBM 370-XA
- Virtuelna/skrivena memorija kod mini računara
 - DEC VAX (engl. *Virtual Address eXtension za PDPII*)
- Snižavanje cene
 - mikro-računari
 - delić cene, mogućnosti i dimenzija



Arhitektura računara IV generacije

Mikro-računari

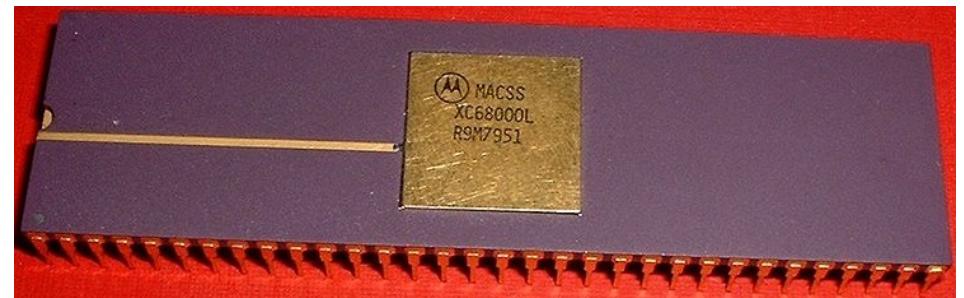
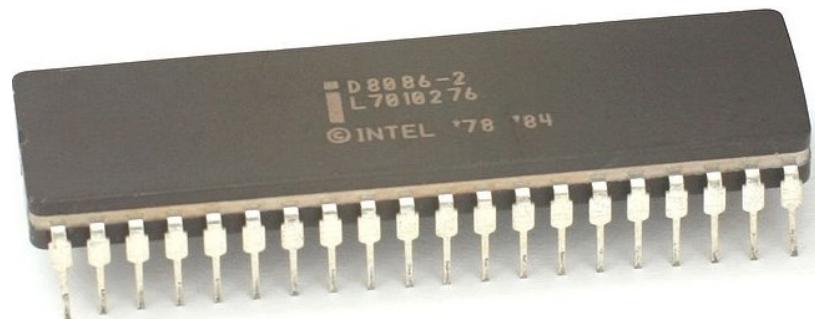
- Mikro-procesorske familije
- 1971. – Intel 4004
- 1972. – Intel 8008
- 1974. – Motorola 6800



Arhitektura računara IV generacije

Mikro-računari

- Krajem 70-tih 16-bitni procesori
 - počinje buran razvoj
 - Intel 8086 (80x86)
 - Motorola 68000 (680x0)
- Razvoj mikro-procesora u smeru poboljšanja funkcionalnosti
- Periferni procesori/koprocesori
 - Intel 8087 aritmetički koprocesor
 - Motorola 6845 I MMU



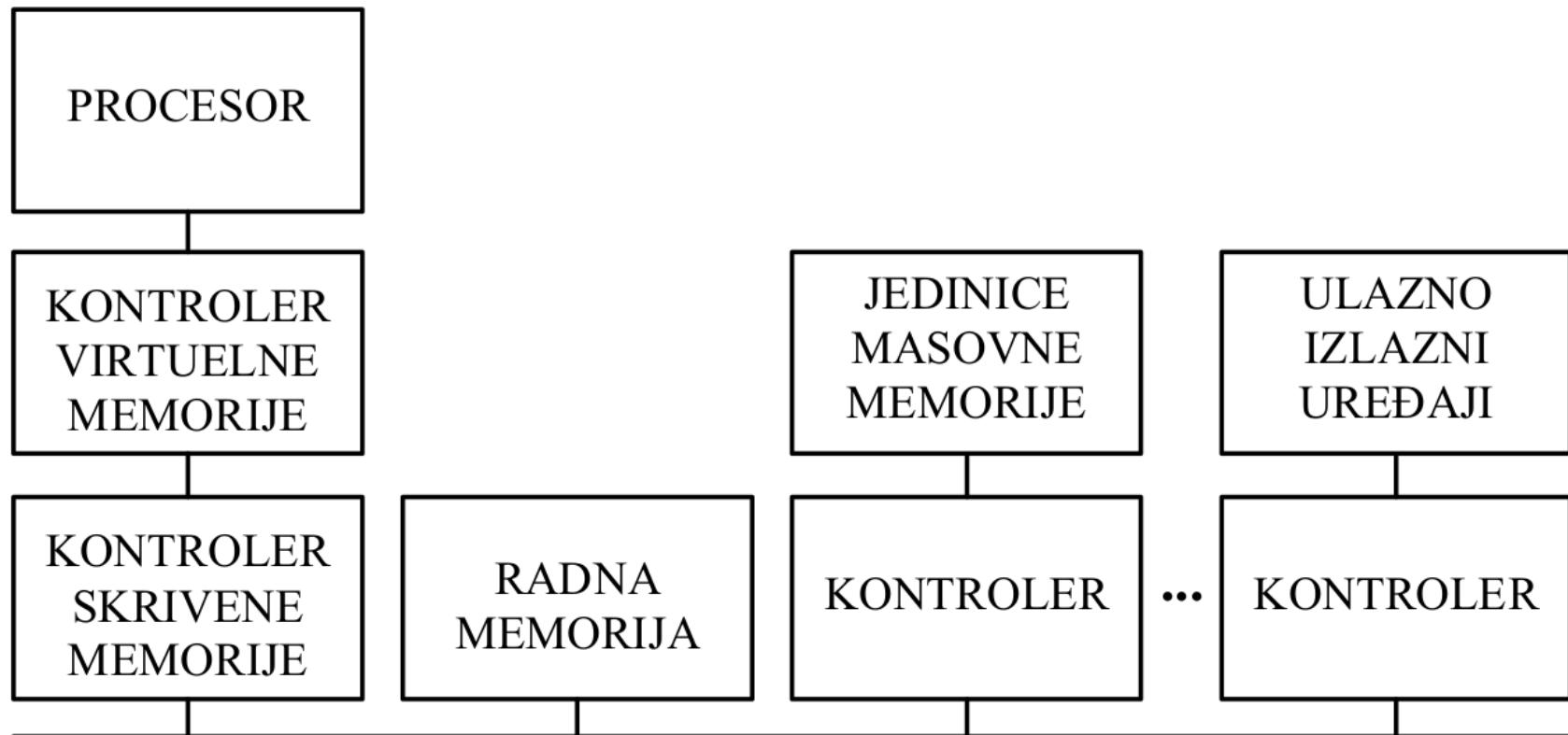
Arhitektura računara IV generacije

Mikro-računari

- Primena u automatskom upravljanju
- Pristup otvorene arhitekture
 - Intel – Multibus sabirnica
 - Motorola – VME sabirnica
- Mikro-kontroleri
 - mikro-procesor
 - digitalni U/I
 - analogni U/I
 - RAM
 - programabilni ROM
 - serijska komunikacija
 - brojači/tajmeri

Arhitektura računara IV generacije

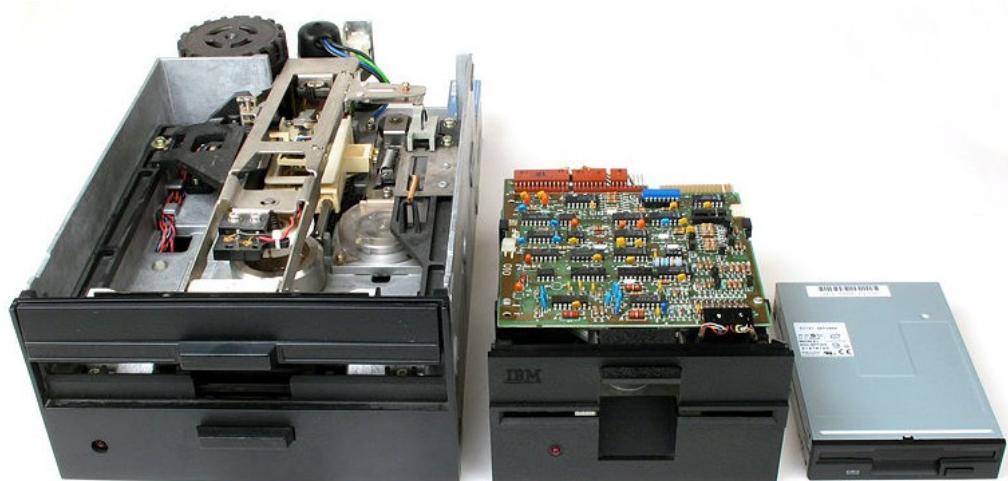
Mikro-računari kao kontrolери mini-računara



Arhitektura računara IV generacije

Personalni računari

- Mikro-računar sa grafičkim terminalom
- Interaktivni rad
 - Tekstualni režim
 - WIMP – windows, icons, menus, pointer
 - 1973. – Xerox Alto
- Magnetne diskete (engl. *floppy diskette*)



Arhitektura računara IV generacije

Personalni računari

- 1981. – IBM PC
 - Intel 8088
 - MS-DOS
 - otvorena arhitektura
 - klonovi
- Novi segment tržišta
- Veliki uticaj na dalji razvoj računara
- Povezivanje na mini-računare
 - putem telefonskih linija
 - modem (MODulator-DEModulator)



Arhitektura računara IV generacije

Računarske mreže

- Potreba za povezivanjem računara
- Lokalne mreže (engl. *Local Area Network – LAN*)
 - do par km
 - nekoliko mbps
- Globalne mreže (engl. *Wide Area Network – WAN*)
 - više hiljada km
 - javne telefonske linije - nekoliko kbps
- Prve globalne mreže - računari treće generacije
 - ARPAnet (engl. *Advanced Research Project Agency Network*)

Arhitektura računara IV generacije

Računarske mreže

- ARPAnet (engl. *Advanced Research Project Agency Network*)
- Mogućnost rada i kada je deo mreže nefunkcionalan
- 1968. – packet switching, početak razvoja
- 1969. – slanje prvih poruka, prva stalna konekcija
- SDS Sigma 7, IBM 360/75, DEC PDP-10, SDS 940
- Brzina od 2.4 kbps pa nadalje
- 1971. – e-Mail
- 1973. – FTP
- 1982. – TCP/IP

Arhitektura računara IV generacije

Računarske mreže

- Omogućile saradnju
- Različiti računari pružaju razne usluge
- Mrežni operativni sistemi (engl. *network operating systems*)
- Jedinstven sistem datoteka
- Obično kao nadogradnja postojećih OS

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*
 - višeprocesorski 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

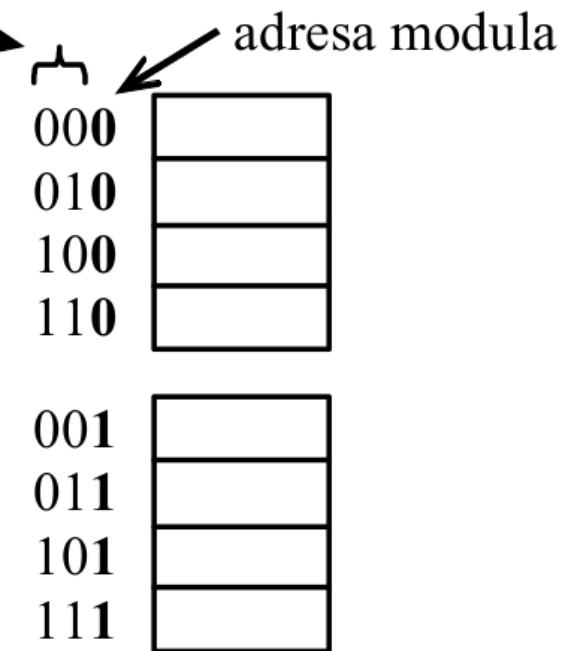
Super-računari

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

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Preklapanje rada – protočna struktura (engl. *pipeline*)
 - Prepletena radna memorija (engl. *interleaved memory*)
 - adresa lokacije modula →
 - n nezavisnih memorijskih modula
 - svaka naredna adresa u narednom modulu
 - x86: dvo-, tro-, četvoro-kanalna memorijska arhitektura
 - omogućava istovremen pristup procesoru i kontrolerima
 - podrška kompjlera
 - 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 (STring ARray)



Evolucioni period arhitekture računara oko 1980. (nastavak)

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX 11/780

- 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 11/780

- 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

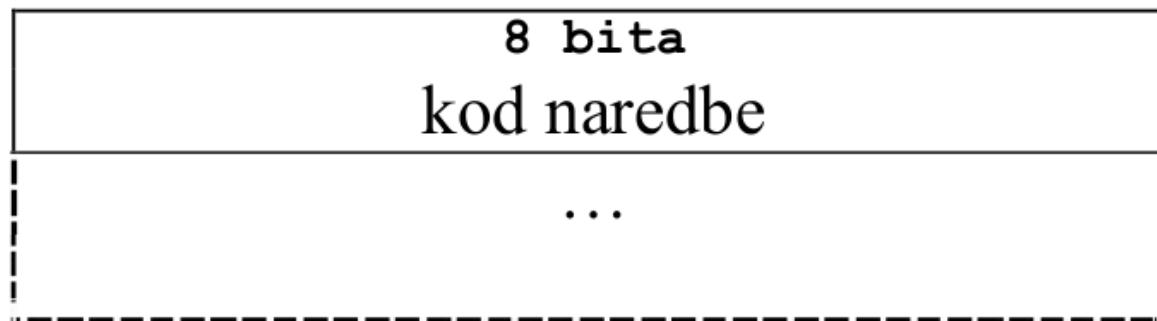
Arhitektura naredbi DEC VAX I I/780

- 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 operative (od 0 do 6 operanada)
 - Potpuna ortogonalnost
- Adresiranja se kodiraju slično kao kod PDP II, samo što su kodovi operanada i registara sada po 4 bita

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi DEC VAX 11/780

- 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
- Sistemske 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 register – FLAGS (uslovni biti)
- Neortogonalan skup naredbi:
 - množenje, deljenje i U/I – AX i DX
 - nizovi – CX

Arhitektura računara IV generacije

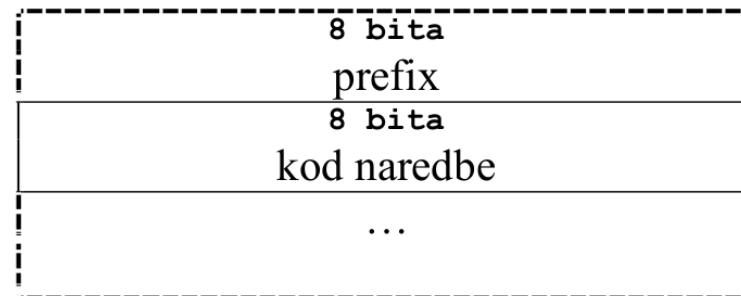
Arhitektura naredbi Intel 8086

- 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
- Sistemske naredbe
- Ulazno-izlazne naredbe

Arhitektura računara IV generacije

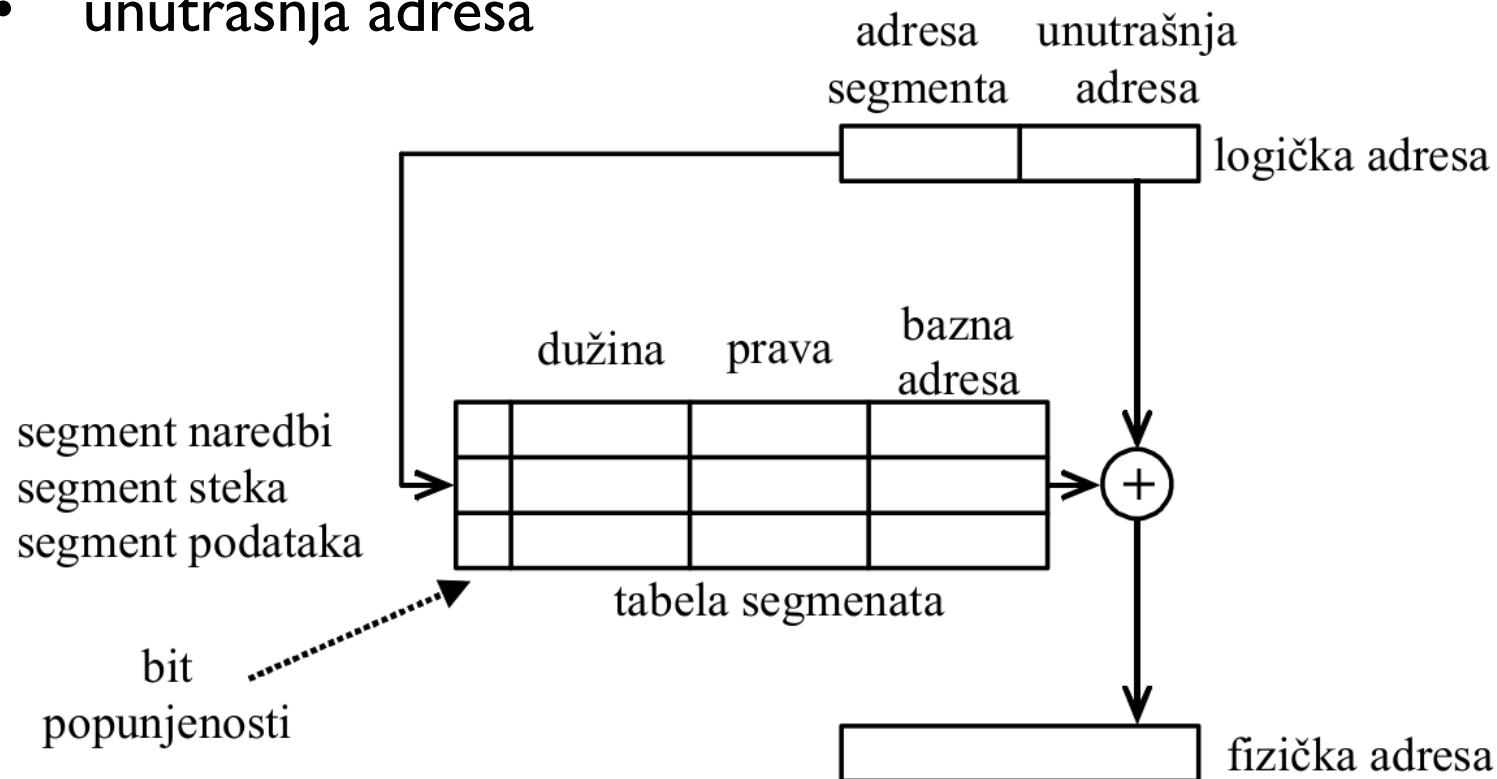
Segmentna organizacija radne memorije

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

Arhitektura računara IV generacije

Segmentna organizacija radne memorije

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



Arhitektura računara IV generacije

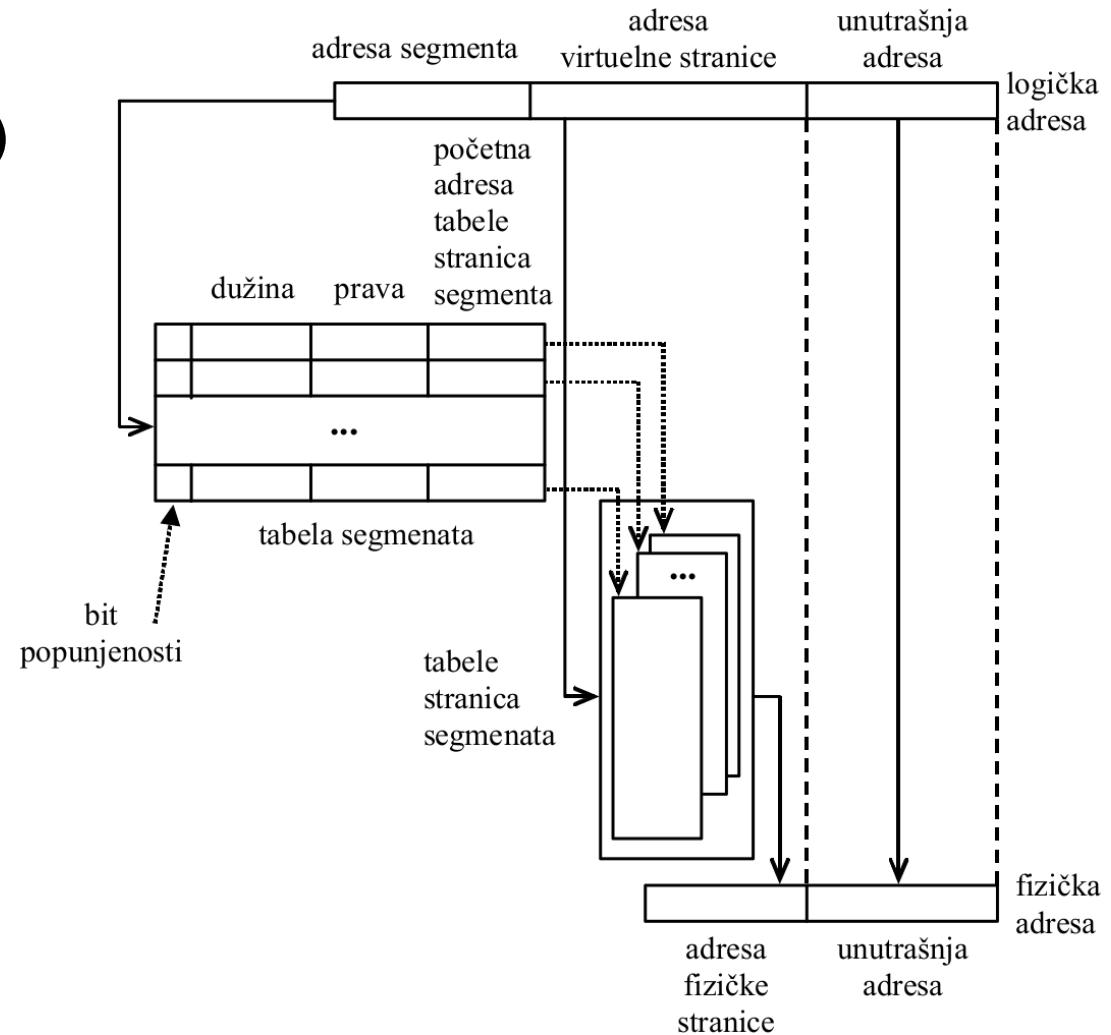
Segmentna organizacija radne memorije

- 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 virtualnu adresu
- Pored obične segmentacije, podržana virtualna 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

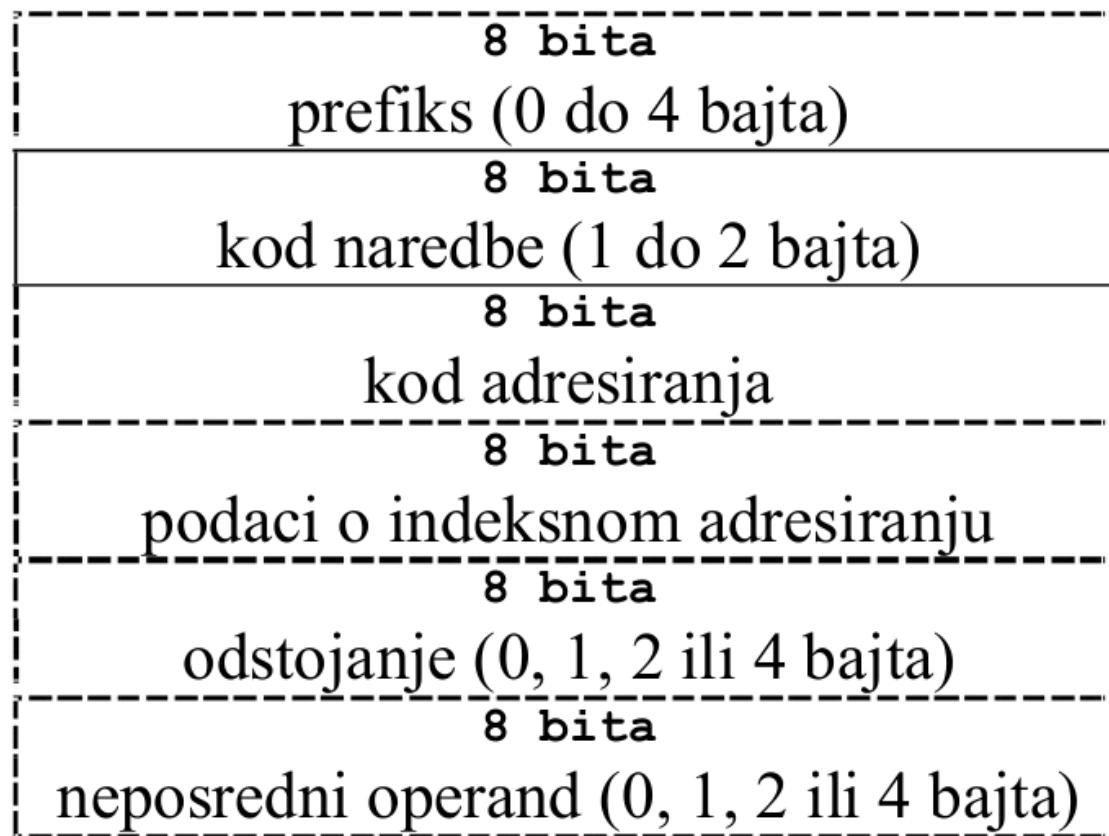
Arhitektura naredbi Intel 80386

- 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 **debagiranje**
 - emulacija 8086

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel 80386

- Mašinski format naredbe



Arhitektura računara IV generacije

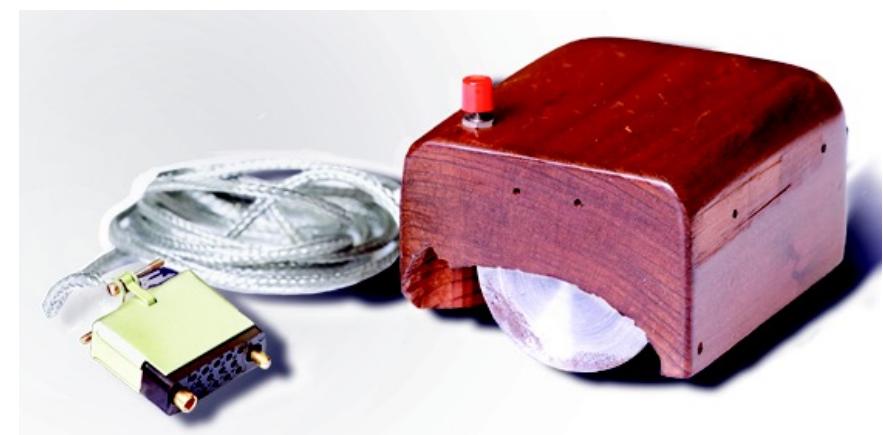
Arhitektura naredbi Intel 80386

- 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
- Sistemske 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

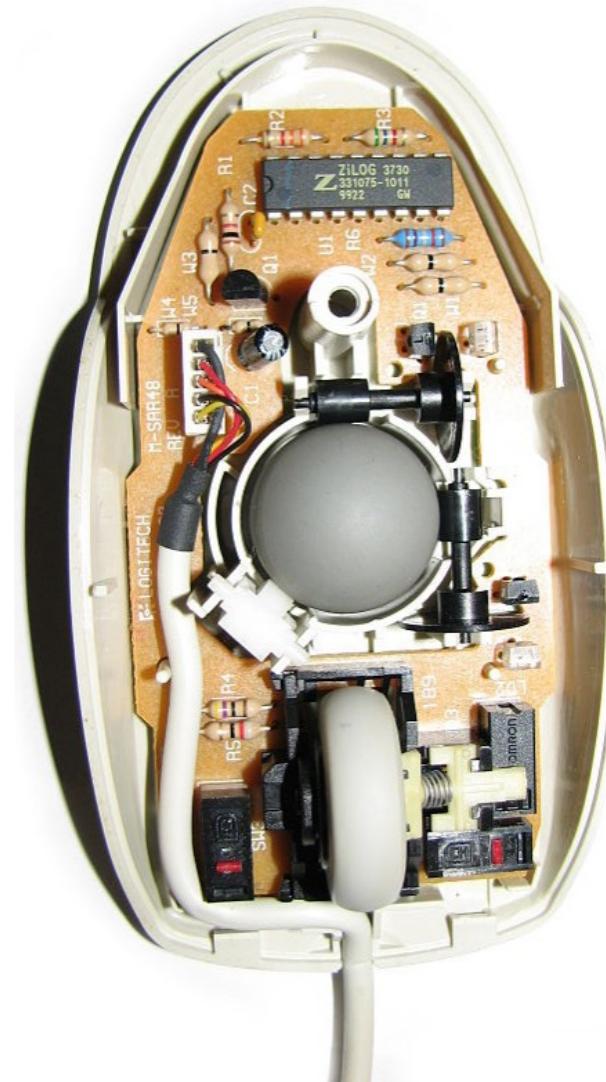
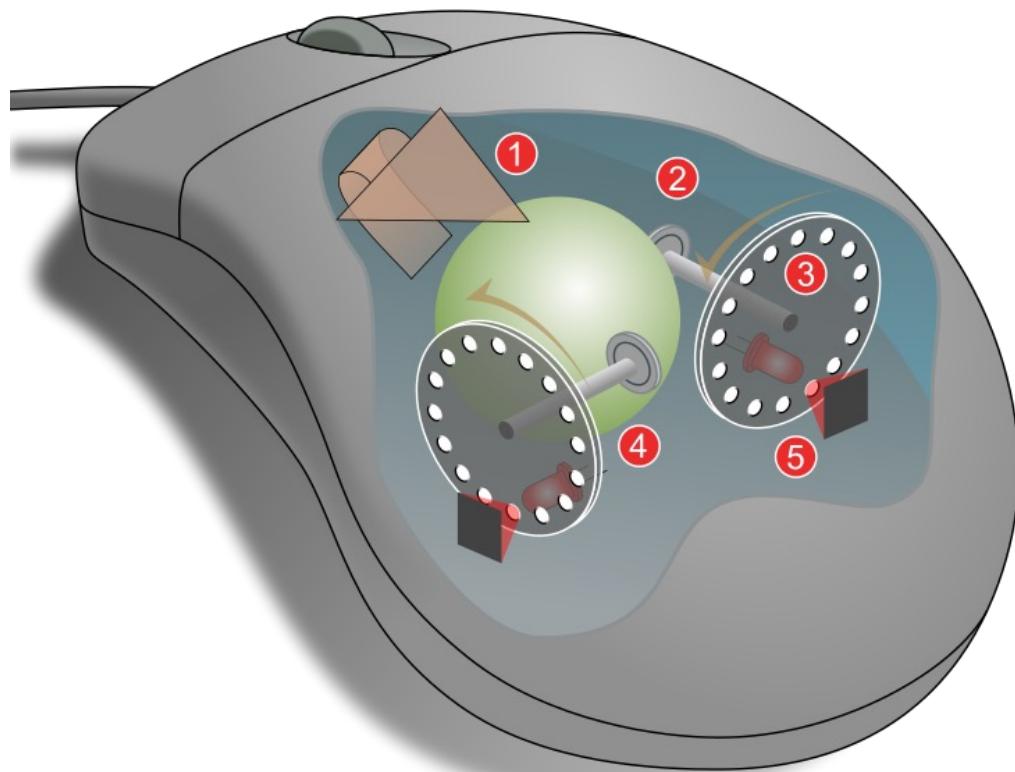
1973. – Xerox Alto



Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

- **Mehanički miš**



Arhitektura računara IV generacije

Princip rada miša

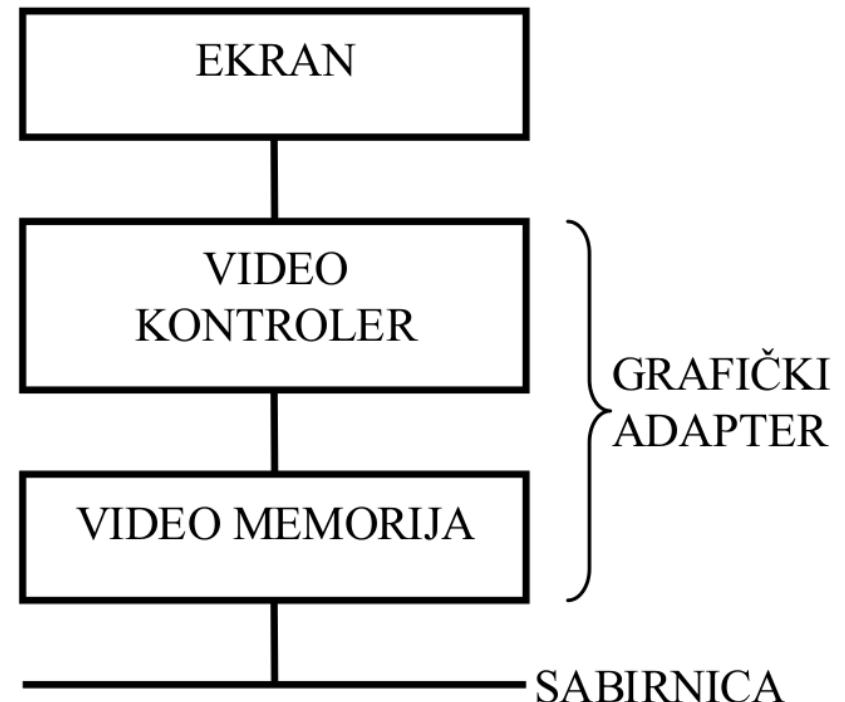
- **Optički/laserski miš**
 - Prvi se pojavili 1980.
 - posebna podloga
 - LED + senzor pokreta (obično kamera niske rezolucije)
 - poređenje slike u dva bliska trenutka
 - više hiljada puta u sekundi
 - Laserski miš – poluprovodnički laser umesto LED, veća rezolucija kamere
 - Bolje praćenje površine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

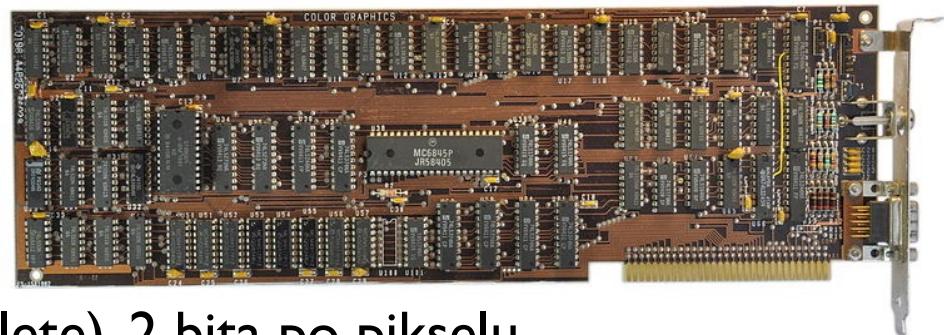


Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

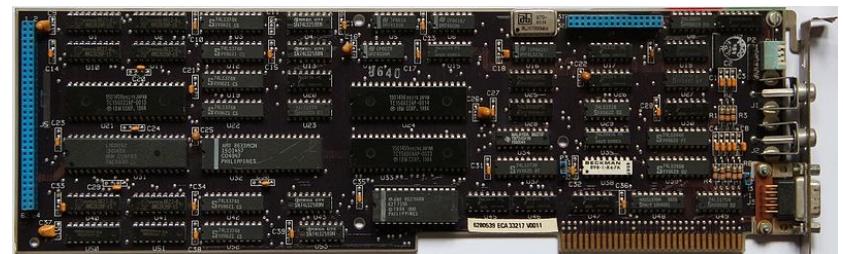
- 1981. – **CGA**

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



- 1984. – **EGA**

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



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

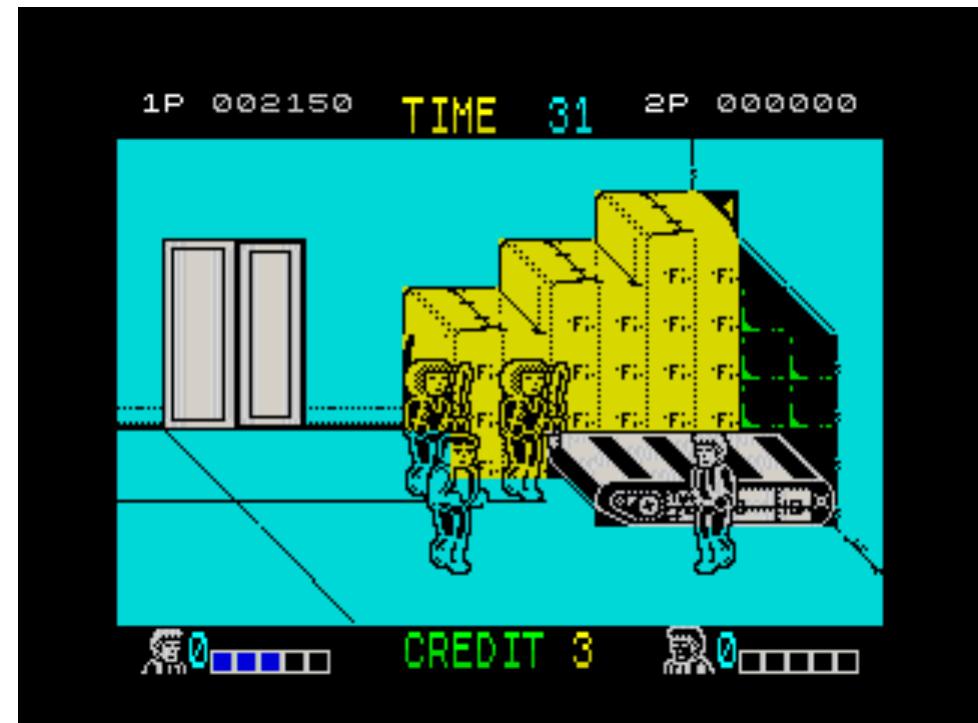
- 1987. – **VGA**
 - 256 kB memorije
 - 16 ili 256 boja iz paleta od 262144
 - maksimalna rezolucija 640 x 480
- 1989. – **SVGA**
 - 800 x 600, 1024 x 768
 - true color
- 1996. – 3dfx Voodoo grafički čip
- 1999. – prvi **GPU** (engl. *Graphics Processing Unit*) – Nvidia GeForce 256



Arhitektura računara IV generacije

Osobine grafičkih terminala

- **Kućni računari**
 - mala količina memorije
 - **ZX Spectrum**
 - 256×192 , 15 boja
 - max 2 boje za jednu 8×8 matricu, atributi 32×24
 - 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**

- $320 \times 200, 640 \times 200, 4096$ boja
 - max 16/64/4096 boja odjednom
 - HAM – Hold And Modify
 - prepolovljena količina memorije za svih 4096 boja



Arhitektura računara IV generacije

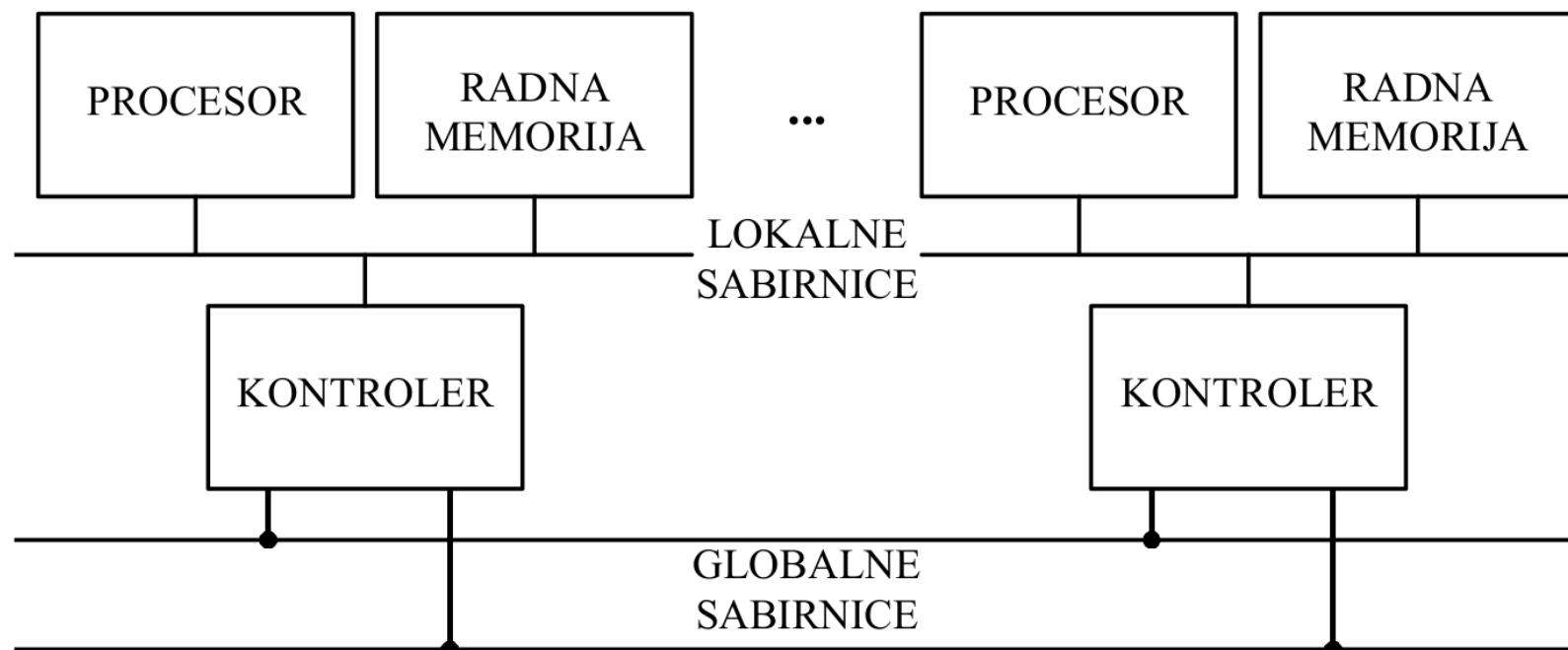
Principi rada lokalnih mreža

- 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

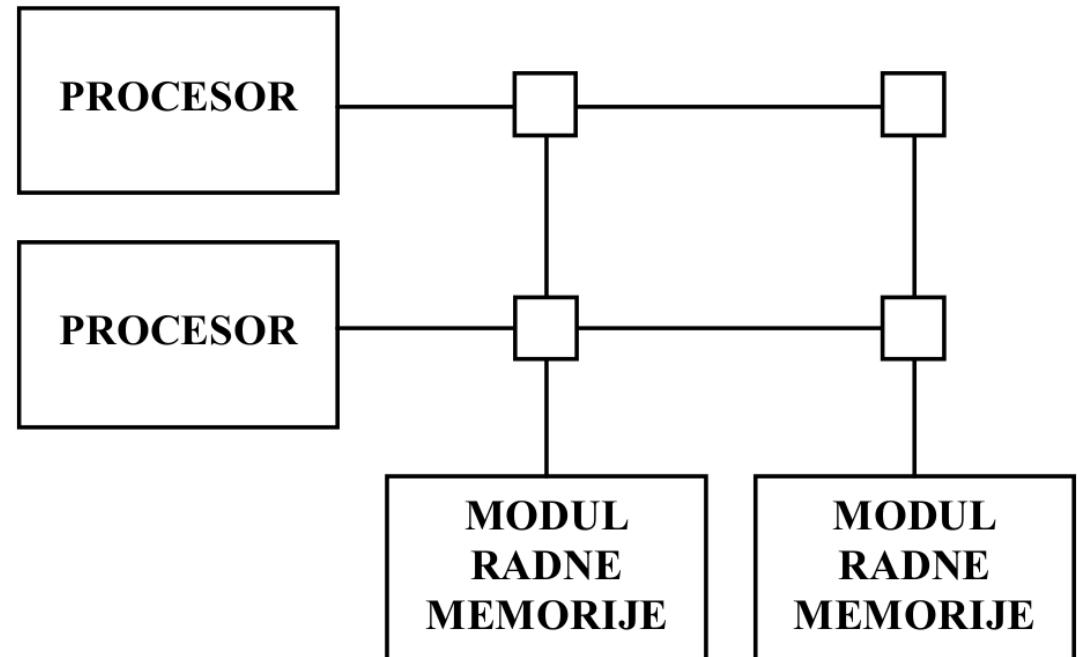
- Arbitar sabirnice dozvoljava više aktivnih strana
 - zbog zagušenja, mali broj procesora
- Više sabirnica
 - duža razmena podataka između pojedinih celina



Arhitektura računara IV generacije

Višeprocesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

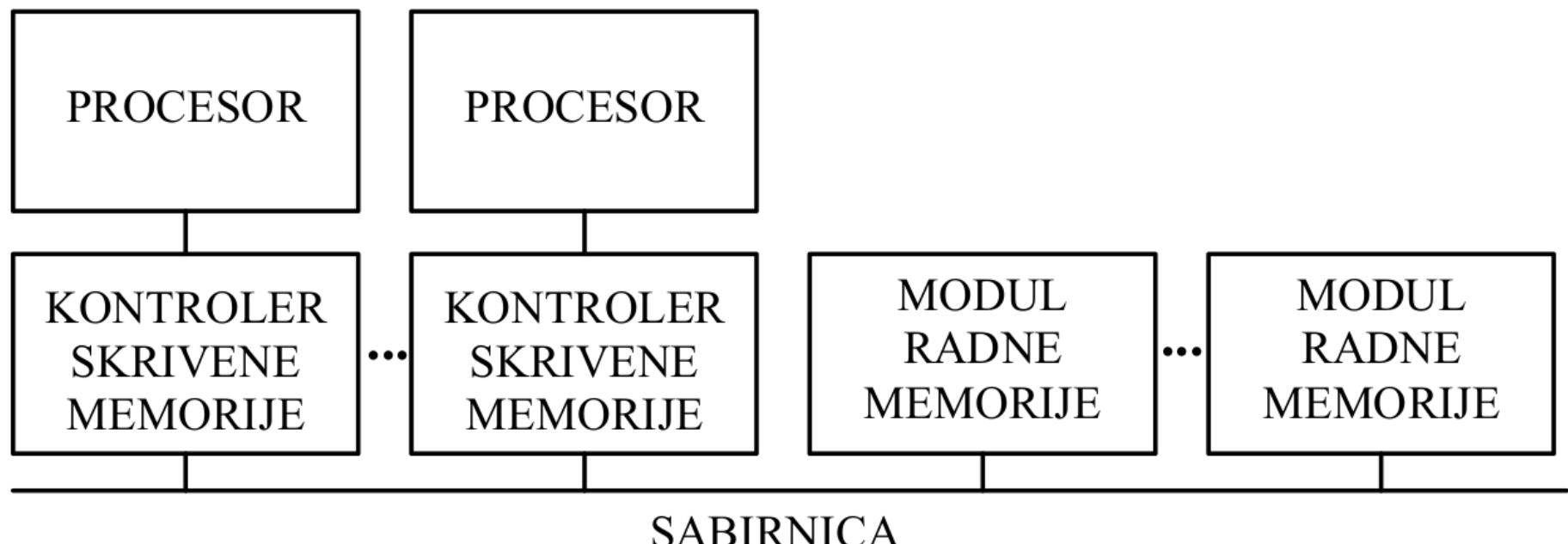
- Unakrsna matrica (engl. crossbar)
 - Dinamičko uspostavljanje direktnih veza
 - Za veliki broj prekidača:
 - visoka cena
 - veliko kašnjenje
 - mala pouzdanost
 - Prvi put kod računara
3. generacije



Arhitektura računara IV generacije

Višeprocesorski računari sa zajedničkom sabirnicom

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



Arhitektura računara IV generacije

Višeprocesorski 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

Evolucijski 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

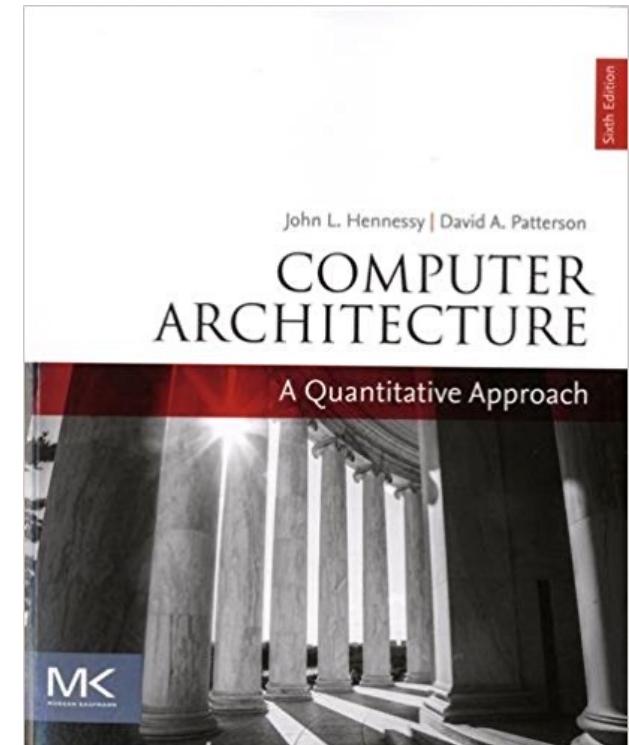
RISC arhitektura

- Pojednostavljenje 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

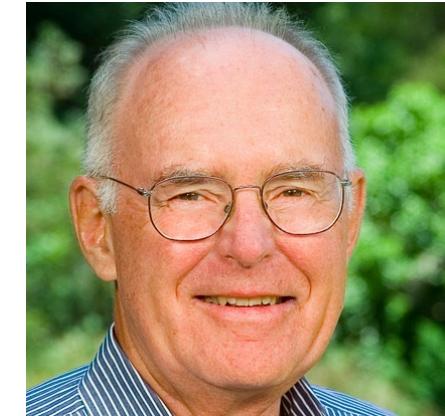
Rast brzine i gustine tranzistora na čipu

- Smanjenje tranzistora povećava brzinu
- Više tranzistora
- Veća disipacija topline
- Brži tranzistori → manje kašnjenje signala → kraći ciklus
- Manji tranzistori → kraći put signala → kraći ciklus
- Manji čip, veći wafer → 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 → 1m
- **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–)

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 → 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 $s*t$
 - $(1-s)$ -ti deo je serijska obrada
 - vreme serijske obrade $(1-s)*t$
- Paralelna obrada n piksela:
 - vreme paralelne obrade $(1-s)*t/n$
 - ukupno vreme paralelne analize:
- Odnos serijske i paralelne obrade:

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

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

Arhitektura računara IV generacije

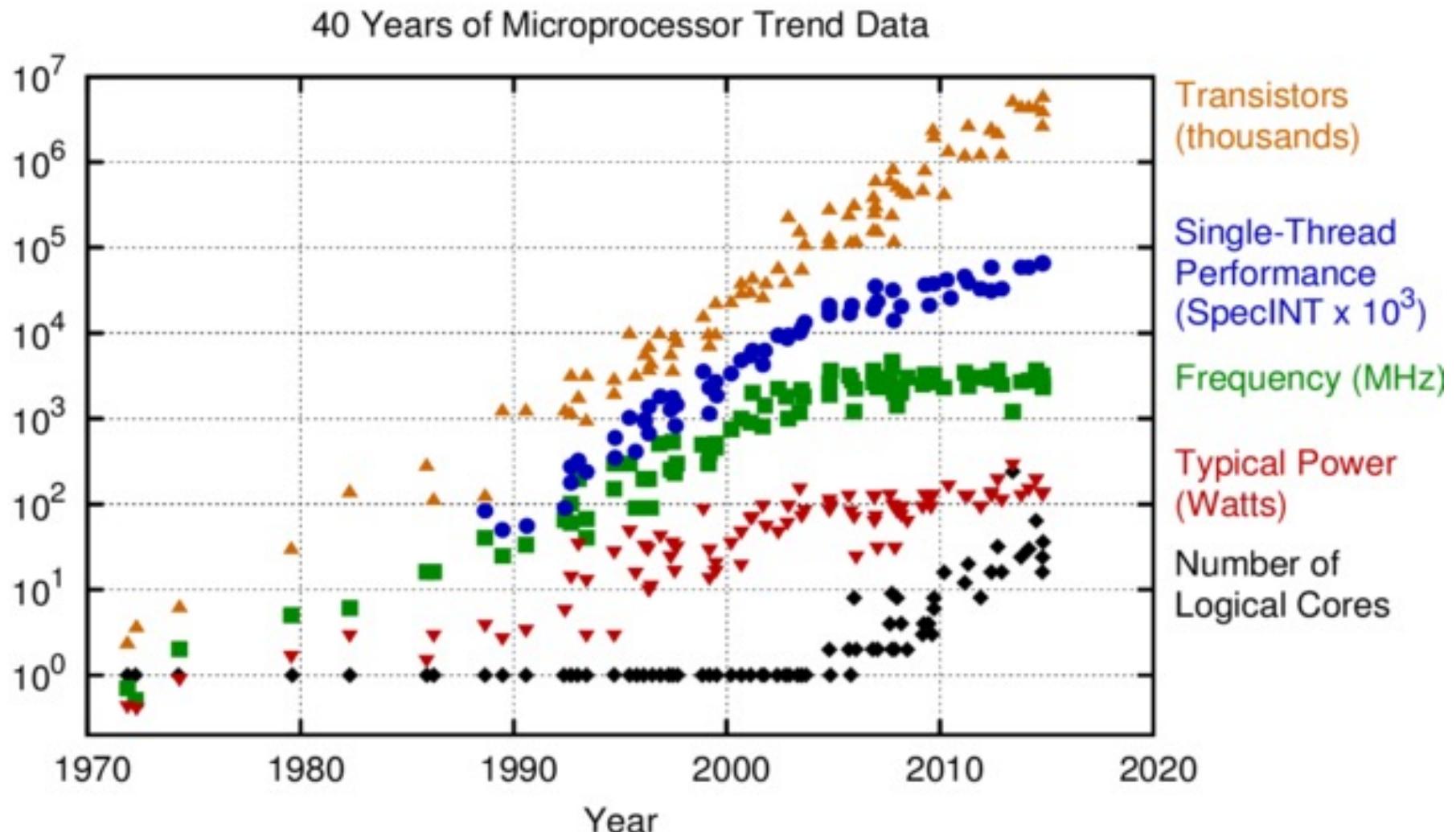
Dometi primene paralelizma

- Odnos serijske i paralelne obrade:
 - za veliko $n \rightarrow 1/s$
 - **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



Arhitektura računara IV generacije

Konkurentno programiranje

- Nepodesni programske 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

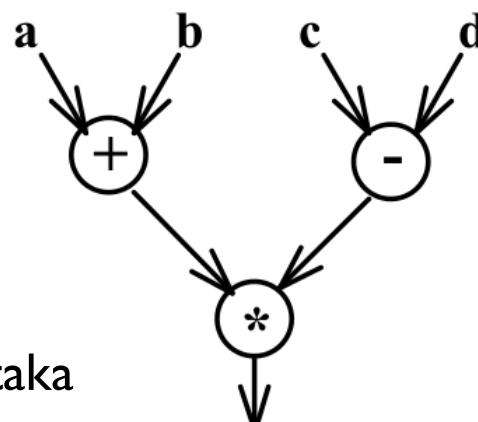
- složenije korišćenje

- **Model toka podataka**

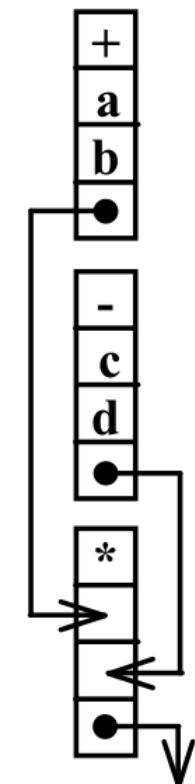
(engl. *data flow model*,

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
 $(a+b)*(c-d)$

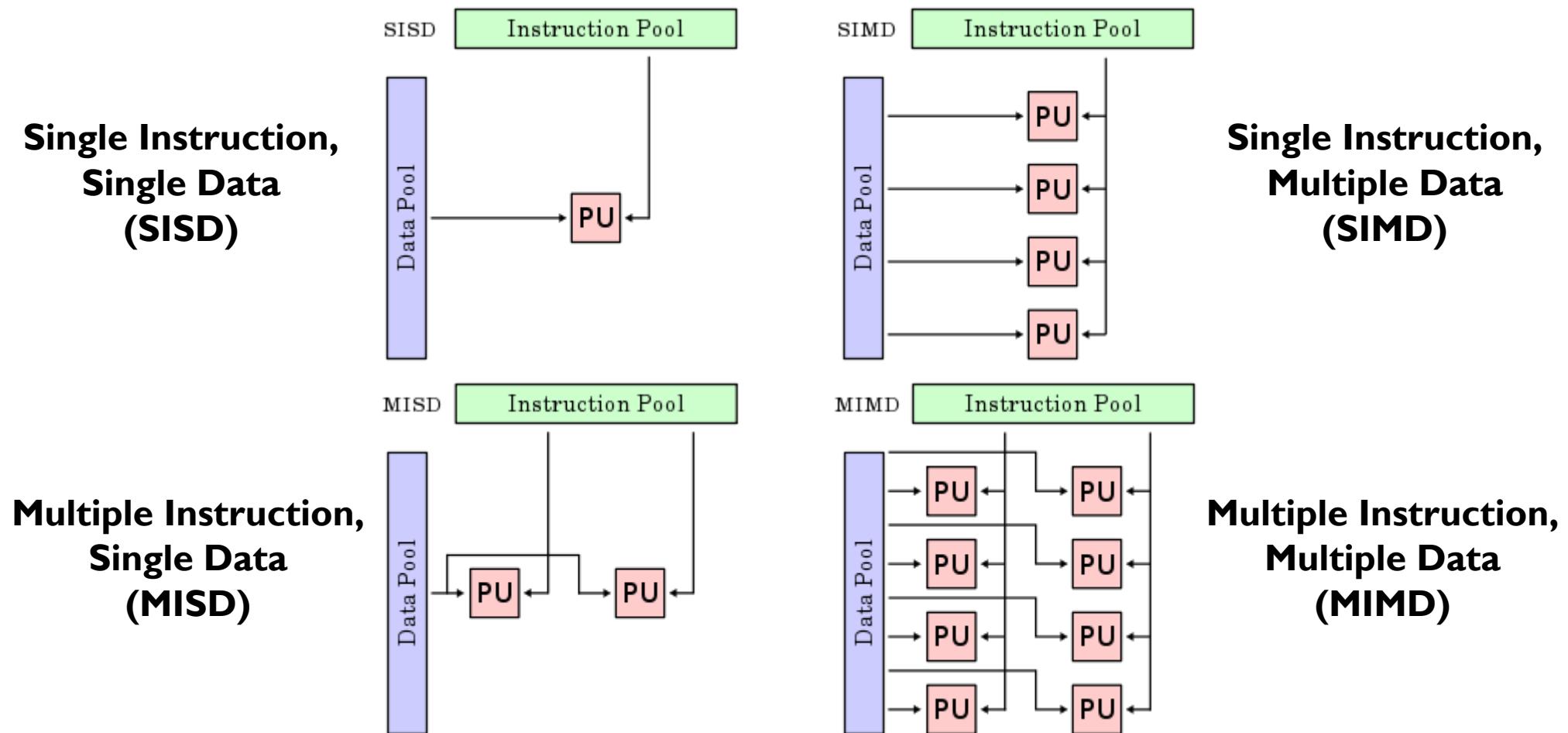
Arhitektura računara IV generacije

Konkurentno programiranje

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

Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

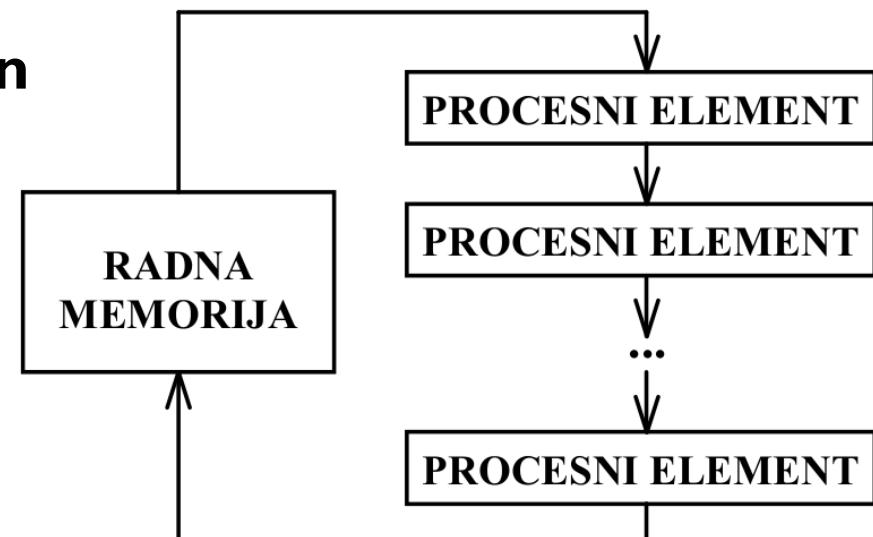


Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Flynn%27s_taxonomy

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

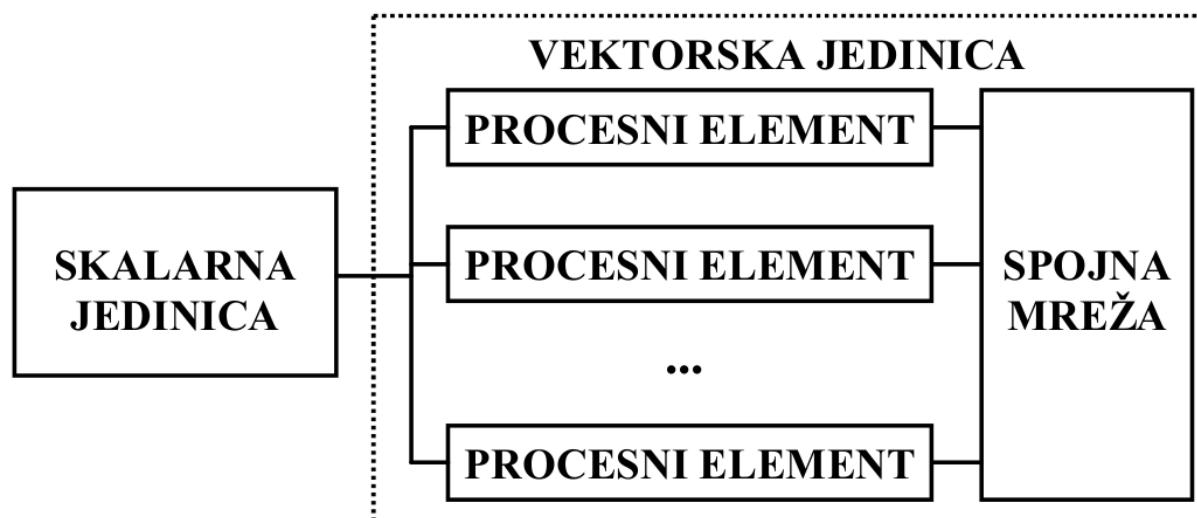
- Svesno korišćenje više procesora za isti problem
 - protočna struktura putem datoteka
 - preprocessor, kompajler, linker
 - saradnja putem povremene razmene podataka
 - više tokova naredbi i više tokova podataka – **MIMD** (engl. *Multiple Instruction, Multiple Data*)
- **Masovni paralelizam** – ista 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

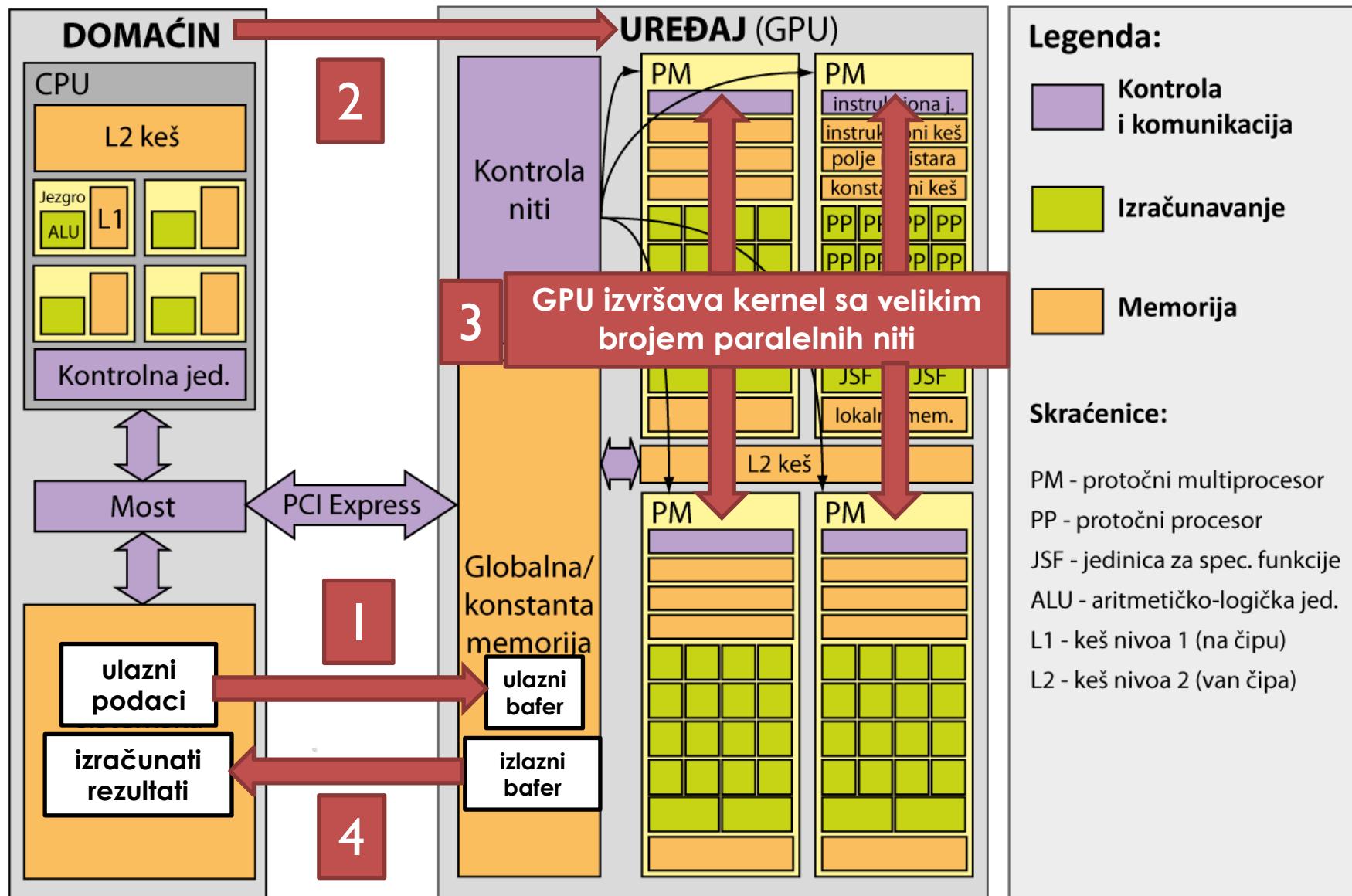
Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **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



Primer SIMD: GPU izračunavanja



Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

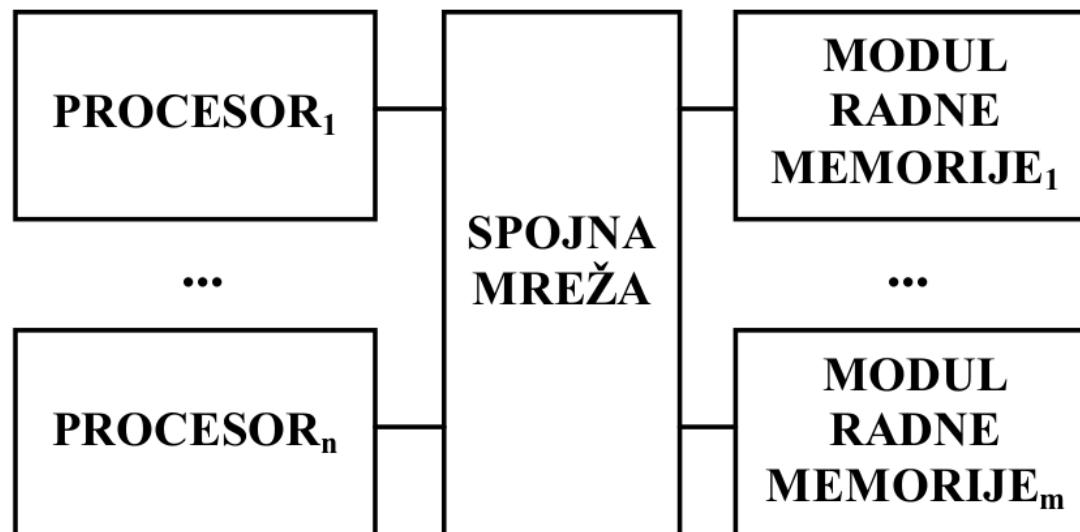
- **SIMD računar**
 - specijalizovani za neke klase problema
 - dodatak računarima opšte namene
 - problem pouzdanosti (veći broj elemenata → manja šansa da svi rade ispravno)
 - sinhronizovan rad procesnih elemenata
- **MIMD računar**
 - nezavisni procesori, asinhron rad
 - osnovni problem je sinhronizacija
 - sprečavanje pristupa nepotpunim podacima
 - stroga pravila pristupanja deljenoj memoriji (engl. *shared memory*)
 - protokol razmene poruka (engl. *message passing*)

Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **MIMD računar**

- **Multiprocesor** – zajednička memorija od nezavisnih modula
 - brzina pristupa zavisi od fizičke udaljenosti procesora i modula - čvrsto spregnuta organizacija (engl. *tightly coupled*)
 - lakše programiranje jer je svakom procesoru sve dostupno
 - mali broj procesora

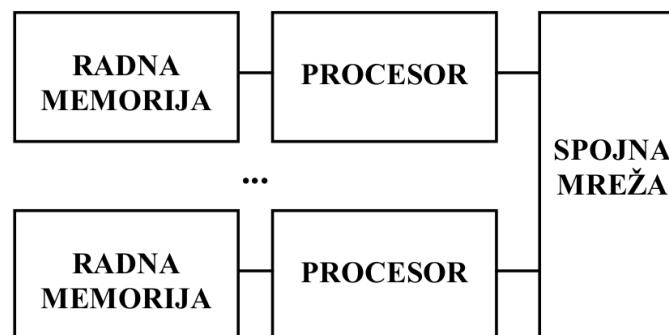


Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **MIMD računar**

- **Multiprocesor** – NUMA (engl. Non-Uniform Memory Access)
 - svaki procesor ima svoj memoriski modul
 - može pristupiti drugim modulima, ali sporije
 - neophodno poznavanje organizacije
- **Multiračunar** – razmena poruka (engl. message passing)
 - direktni pristup samo sopstvenoj memoriji
 - spoj više nezavisnih računara, potencijalno veoma udaljenih
 - labavo spregnuta organizacija (engl. *loosely coupled*)



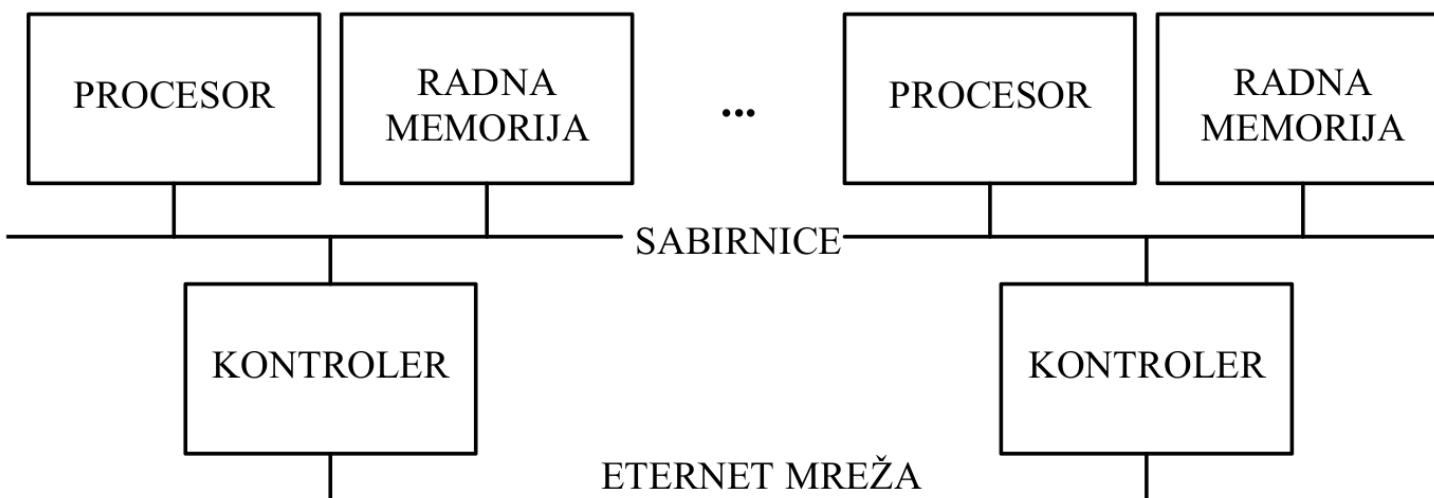
Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **MIMD računar**

- **Multiračunar**

- detaljno poznavanje organizacije, samo razmena poruka
 - povezivanje Ethernet-om
 - više mreža povezanih posebnim uređajima (engl. *bridge, gateway, router*) – internet
 - mogućnost praktično proizvoljne organizacije



Arhitektura računara IV generacije

Otpornost na kvarove

- Kvar jednog računara u multiračunaru
 - zavisno od uloge
- Otpornost na kvarove (engl. *fault tolerance*)
 - glavni/rezervni računar, periodične tačke oporavka
 - *stand by*
 - više računara za isti zadatak, razmena rezultata
 - *majority voting*
 - problem vizantijskih generala (engl. *Byzantine fault tolerance*)
 - algoritmi za postizanje konsenzusa zasnovani na glasanju (engl. *voting*) i lutriji (engl. *lottery*) – primena: blokčejn (engl. *blockchain*) tehnologija

Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- Povećanje brzine izvršavanja
 - uloga kompjlera
- Samo neophodne naredbe – load/store arhitektura
 - prenos podataka
 - celobrojna/realna aritmetika
 - logičke
 - upravljačke
- Realizacija zauzima mnogo manje prostora od CISC
 - skraćivanje procesorskog ciklusa
 - povećanje broja registara opšte namene
 - 32 i više
 - *register window* – skup registara za podršku rada pojedinačnih potprograma
 - povećanje paralelizma u radu procesora
 - ugradnja skrivene memorije u procesor
 - prebacivanje upravljanja virtuelnom memorijom u nadležnost procesora

Arhitektura računara IV generacije

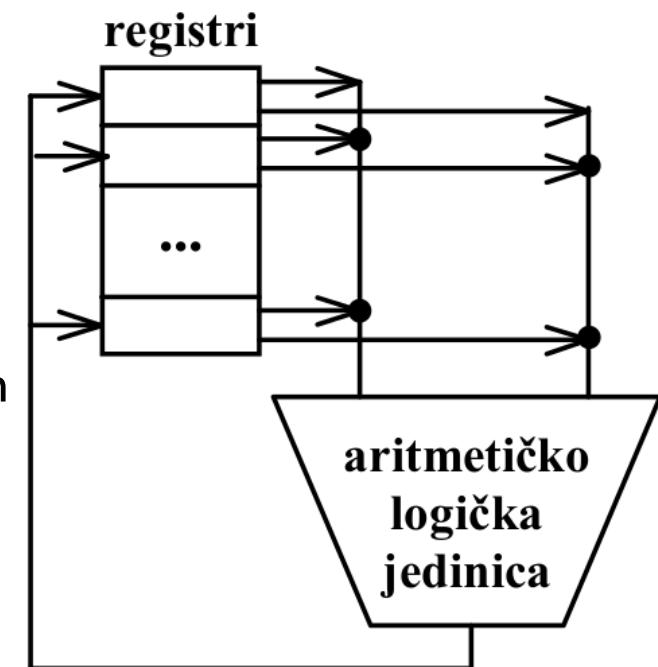
RISC procesori

- Realizacija zauzima mnogo manje prostora od CISC
 - Proširenje adresnog prostora
 - 64-bitne arhitekture:
 - 1974. – CDC Star-100
 - 1976. – Cray-I
 - 1991. – MIPS R4000
 - 1992. – DEC ALPHA
 - 1997. – IBM RS64 PowerPC
 - 2001. – Intel Itanium IA-64
 - 2003. – AMD Opteron, Athlon 64
 - 2006. – Sony, IBM i Toshiba Cell
 - 2011. – ARM ARMv8-A

Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- Povećanje paralelizma
 - Više sabirnica (engl. *three-bus architecture*)
 - u jednom ciklusu
 - dva registra do AL jedinice
 - rezultat u registar
 - Stepen za dobavljanje protočne strukture uvećava PC
 - Više nezavisnih stepeni za izvršavanje aritmetike
 - Super-skalari – izvršavaju više naredbi odjednom
 - IBM RS/6000
 - DEC ALPHA
 - precizni i neprecizni prekidi



Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- Skrivena memorija
 - Data/instruction cache
 - Dva nivoa:
 - viši nivo - manja i brža (blizu brzine registara)
 - niži nivo - veća i sporija
 - DEC ALPHA 21164
 - 2 x 8K (data/instruction)
 - 96k
- Prebacivanje MMU u procesor
 - brže pretvaranje adresa

Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- Uloga kompjlera
 - Direktno odgovoran za ubrzanje rada
 - Što dugotrajnije preklapanje
 - razdvajanje međusobno zavisnih naredbi
 - statičko raspoređivanje
 - Nepostojanje status regista
 - veća sloboda kompjlera
 - upotreba registara opšte namene
 - spajanje provere uslova i skoka
 - **Odmotavanje petlje** (engl. *loop unrolling*)
 - Najčešće korišćene vrednosti

Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- Uslovne upravljačke naredbe
 - Moguće pražnjenje protočne strukture
 - **Dinamičko predviđanje** (engl. *dynamic branch prediction*)
 - loše predviđanje – poništavanje efekata loših naredbi
 - privremene lokacije za rezultate
 - privremene lokacije za originalne vrednosti
 - pamćenje ishoda prethodnih izvršavanja
 - kompjuter može da označi sigurne ishode

Arhitektura računara IV generacije

Dinamičko predviđanje

```
int rand_partsum(int n){  
    int i,k;  
    long sum = 0;  
    int *vec = malloc(n*sizeof(int));  
  
    for (i = 0; i < n; i++)  
        vec[i] = rand()%n;  
  
    //qsort(vec,n,sizeof(int),cmpfunc);  
  
    for (k = 0; k < 1000000; k++)  
        for (i = 0; i < n; i++)  
            if (vec[i] > n/2) sum += vec[i];  
    return sum;  
}
```

Intel Core i7-5500U,
 $n = 5000 \sim 30s$

Arhitektura računara IV generacije

Dinamičko predviđanje

```
int rand_partsum(int n){  
    int i,k;  
    long sum = 0;  
    int *vec = malloc(n*sizeof(int));  
  
    for (i = 0; i < n; i++)  
        vec[i] = rand()%n;  
  
    qsort(vec,n,sizeof(int),cmpfunc);  
  
    for (k = 0; k < 1000000; k++)  
        for (i = 0; i < n; i++)  
            if (vec[i] > n/2) sum += vec[i];  
    return sum;  
}
```

Intel Core i7-5500U, $n = 5000 \sim 30s$

sa sortiranjem $\sim 13 s$
(mnogo bolje dinamičko
predviđanje poređenja)

Arhitektura računara IV generacije

RISC procesori

- **Izvršavanje naredbi van redosleda** (engl. *out of order*)
 - nakon dobavljanja zavisne naredbe se odmah prelazi na sledeću (nezavisnu)
 - evidencija korišćenja registara (*scorebording*)
 - ako naredbe samo koriste isti registar
 - korišćenje rezervnog regista (engl. *register renaming*, Tomasulov algoritam)
- Neophodne velike radne memorije
- Memorijski preslikani ulaz-izlaz
- IEEE 754 standard za aritmetiku realnih brojeva

Arhitektura računara IV generacije

IEEE 754 standard za aritmetiku realnih brojeva

- 3 formata MNF:
 - **jednostruka preciznost** od 32 bita
 - najznačajniji bit za predznak
 - narednih 8 bita za podešeni eksponent
 - preostalih 23 za frakciju
 - **dvostruka preciznost** od 64 bita
 - najznačajniji bit za predznak
 - narednih 11 bita za podešeni eksponent
 - preostalih 52 za frakciju
 - **proširena preciznost** od 80 bita (interni korišćenje)

Arhitektura računara IV generacije

IEEE 754 standard za aritmetiku realnih brojeva

- Denormalizovani (engl. *denormalized*) brojevi
- Za vrednosti manje od mogućnosti MNF (engl. *underflow*)
- Oznaka za beskonačno (engl. *infinity*)
- Oznaka za neodređeno (NaN, engl. *not a number*)

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi MIPS

- Mašinski format naredbe
- Aritmetičko-logičke naredbe:

6 bita kod naredbe	5 bita ulazni reg1	5 bita ulazni reg2	5 bita izlazni reg	5 bita konstanta	6 bita kod naredbe
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------

- Naredbe prenosa:

6 bita kod naredbe	5 bita ulazni reg	5 bita izlazni reg	16 bita konstanta
-----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------

- Upravljačke naredbe:

6 bita kod naredbe	5 bita ulazni reg1	5 bita ulazni reg2	16 bita konstanta
-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------

- poređenje dva registra
- 0 ili 1 u registru

Arhitektura računara V generacije

Arhitektura naredbi MIPS

- Mašinski format naredbe
- Bezuslovni skokovi:

6 bita kod naredbe	10 bita konstanta
-----------------------	----------------------

- Tipovi naredbi:
 - naredbe za rukovanje podacima (za prenos podataka)
 - naredbe za rukovanje bitima (logičke naredbe i naredbe pomeranja)
 - naredbe za celobrojnu binarnu aritmetiku (obuhvaćene sve aritmetičke operacije),
 - naredbe za aritmetiku realnih brojeva (obuhvaćene sve aritmetičke operacije)
 - upravljačke naredbe
 - sistemske naredbe

Arhitektura računara IV generacije

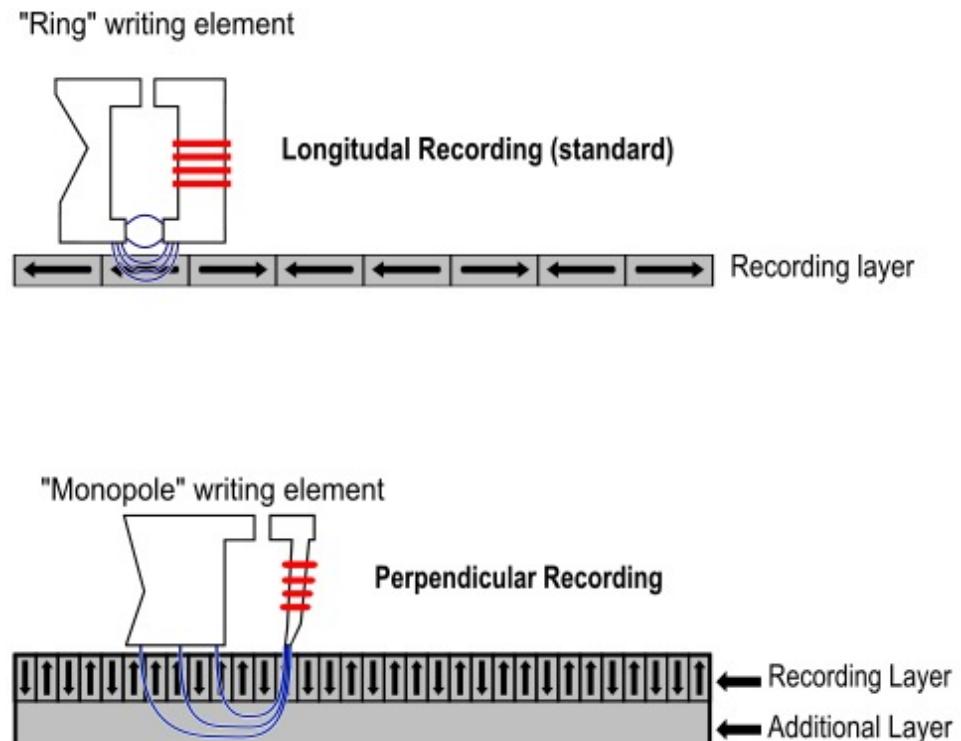
Arhitektura naredbi Intel Pentium Pro, 1995 (u odnosu na 80386)

- FPU
- Naredbe za regulaciju potrošnje energije
 - prenosni računari
- MMX
 - SIMD
- Super-skalar
 - do 3 naredbe u jednom ciklusu
 - **RISC jezgro**
 - 12-stepena protočna struktura, *out of order* izvršavanje
 - izvršava mikro-programe Pentium Pro naredbi
 - 8 kB L1 data cache, 8 kB L1 instruction cache, 96 kB L2 cache

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Magnetni diskovi
- Kapacitet 60% godišnje
- Povećanje gustine, *perpendicular recording* (2005)



Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Magnetni diskovi
 - srednje vreme pristupa 3% godišnje
 - veća gustina → manje dimenzije → manji pređeni put
 - povećanje broja sektora na spolnjim stazama
 - kB, MB, GB, KiB, MiB, GiB
 - korišćenje K diskova u nizu (engl. *disk array*) za veću brzinu
 - slično modularnoj memoriji
 - sukcesivne lokacije na sukcesivnim diskovima (engl. *data stripping*)
 - korišćenje više diskova za veću pouzdanost
 - **RAID** (engl. *redundant array of independent disks*)

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- RAID
 - RAID 0
 - *striping*
 - manja pouzdanost
 - RAID 1
 - *mirroring*
 - RAID 2
 - *bit-level striping* + Hamingov kod
 - poseban disk za Hamingov kod
 - RAID 3
 - *byte-level striping* + paritet
 - poseban disk za paritet
 - RAID 4
 - *block-level striping* + paritet
 - poseban disk za paritet

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- RAID
 - RAID 5
 - *block-level striping* + distribuirani paritet
 - paritet se distribuira po postojećim diskovima
 - moguć gubitak do 1 diska, minimum 3 diska
 - RAID 6
 - *block-level striping* + dupli distribuirani paritet
 - paritet se distribuira po postojećim diskovima
 - moguć gubitak do 2 diska, minimum 4 diska
 - ugnježdeni (engl. *hybrid*) RAID
 - 0+1
 - 1+0
 - nestandardni RAID formati

Arhitektura računara IV generacije

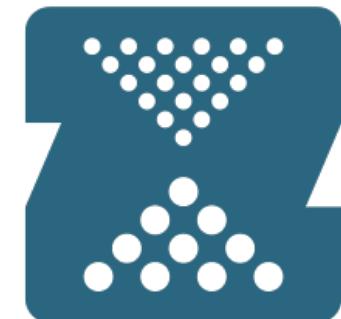
Evolucija masovne memorije

- RAID
 - Softverski i hardverski RAID
 - LVM (engl. *Logical Volume Management*)
 - slobodno kombinovanje diskova/particija
 - Kao deo fajl sistema:
 - ZFS
 - Btrfs
 - *Snapshot*-ovi

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- ZFS
 - Solaris, kod otvoren 2005
 - OpenZFS, 2010
 - Solaris, OpenIndiana, BSD (+OS X), Linux
 - kombinacija fajl sistema i LVM-a
 - 128-bitno adresiranje (10^{24} 3TB diskova)
 - zaštita od grešaka u podacima
 - checksum (algoritam SHA256)
 - za blokove fajlova
 - za blokove fajl sistema
 - ugrađen softverski RAID
 - live provera integriteta i popravka
 - *snapshot*-ovi

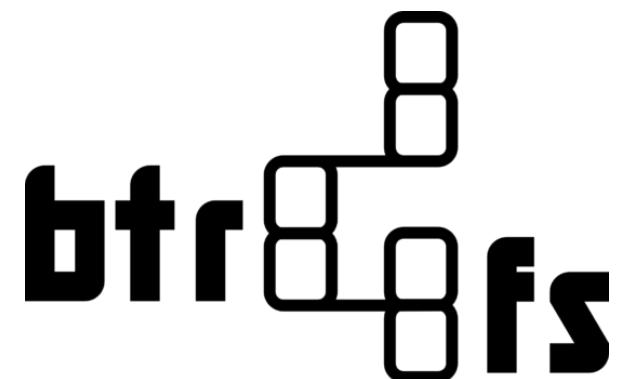


OpenZFS

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Btrfs – B-stablo fajl sistem (engl. *B-tree file system*)
 - Razvoj započet 2007, od 2014. se smatra stabilnim
 - Zamišljen kao:
 - zasnovan na *copy-on-write* principu
 - OSS alternativa *ZFS*-u
 - fajl sistem koji treba da zameni *ext4*
 - Poseduje manje-više sve osobine *ZFS*-a
 - ali nije toliko zreo kao *ZFS*



Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Optički diskovi
 - Zamenili floppy diskete
 - CD (engl. *compact disc*)
 - upotreba lasera za čitanje/upis
 - Red Book, IEC 908 – audio zapis
 - Blue Book, Yellow Book, itd.
 - zapis podataka (CD-ROM)
 - video materijal (Video CD)
 - fotografije (Photo CD)
 - mogućnost dopisivanja podataka (multisession, CD-XA)
 - fajl sistem ISO 9660
 - 3 vrste, zavisno od čitanja/pisanja
 - CD (read only)
 - CD-R (recordables)
 - CD-RW (rewritables)



Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Optički diskovi
 - DVD (engl. *digital versatile disk*)
 - DVD+R, DVD-R
- Poluprovodnički diskovi (SSD, engl. *Solid State Disk*)
 - zasnovani na FLASH memoriji



Arhitektura računara IV generacije

Uticaj RISC procesora na virtuelnu memoriju

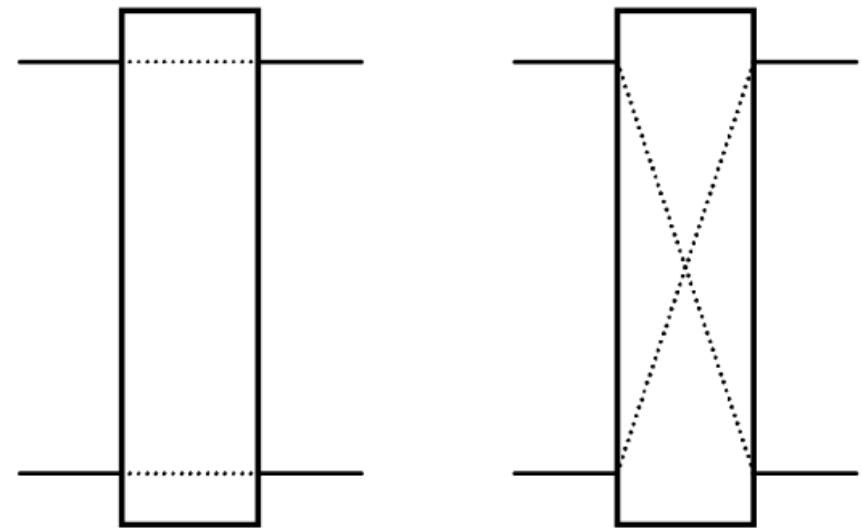
- Adresni prostor od 64 bita
 - Suviše velika tabela stranica
 - Za stranicu od 4 kB $\rightarrow 2^{52}$ elemenata
 - $2^{64} = 17179869184$ GB = 16777216 TB
 - 2^{52} elemenata, 8 bajta $\rightarrow 33554432$ GB = 32768 TB
 - **Invertovana tabela stranica**
 - broj elemenata jednak broju fizičkih stranica
 - jednostruka asocijativnost
 - 3 najmanje značanja bita adrese virtuelne stranice indeksiraju tabelu
 - preostali bitovi su referenci
 - svaka virtuelna stranica može biti u tačno jednoj fizičkoj stranici

000	
001	
010	
011	
100	
101	
110	
111	

Arhitektura računara IV generacije

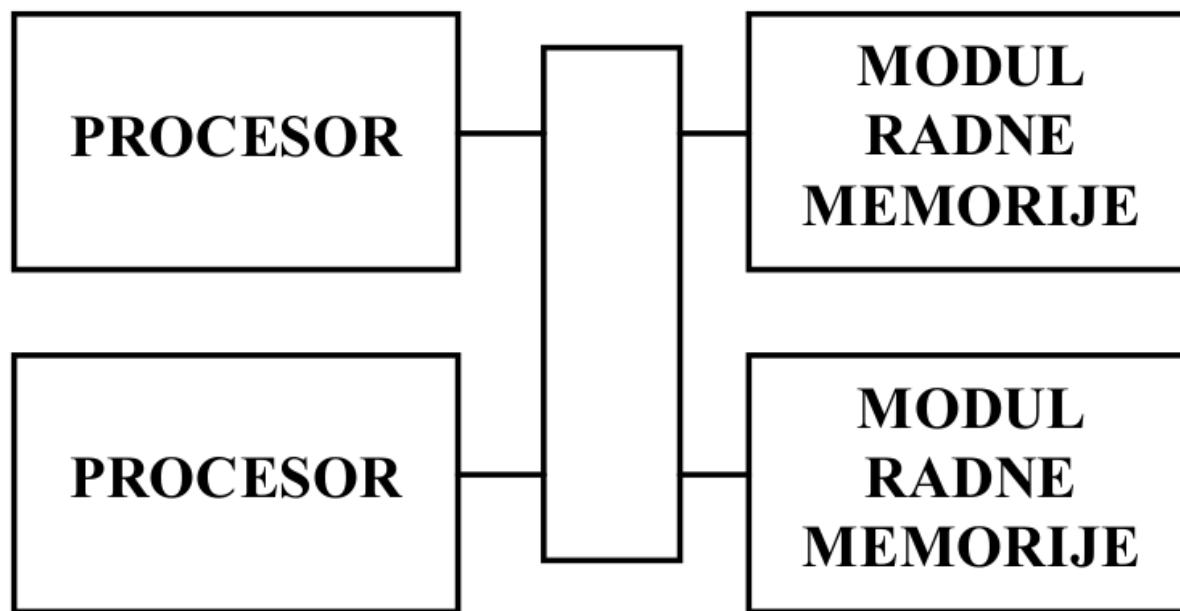
Spojne mreže

- Povezivanje organizacionih delova računara
- Serijski prenos, poruke
- Pravilan oblik
- Decentralizovano upravljanje
- Kašnjenje
- 2×2 prekidač



Arhitektura računara IV generacije

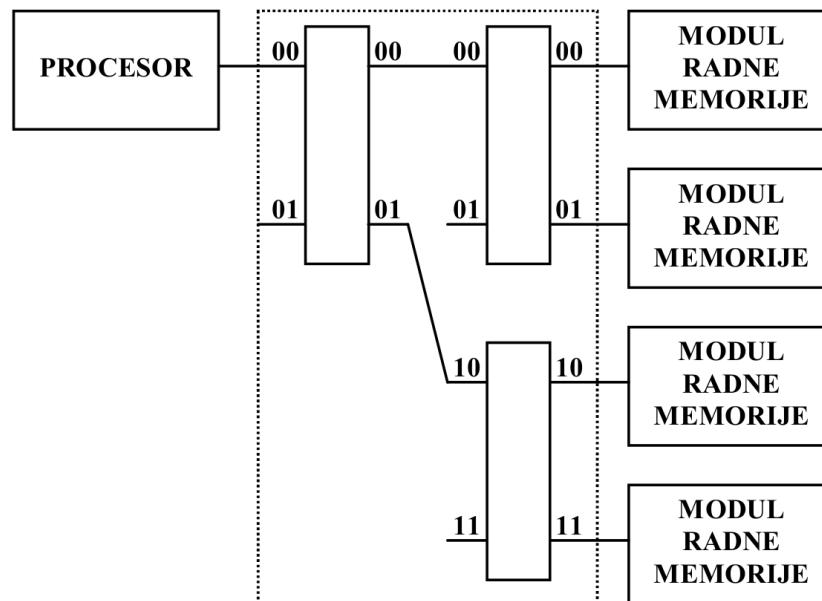
Spojne mreže



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

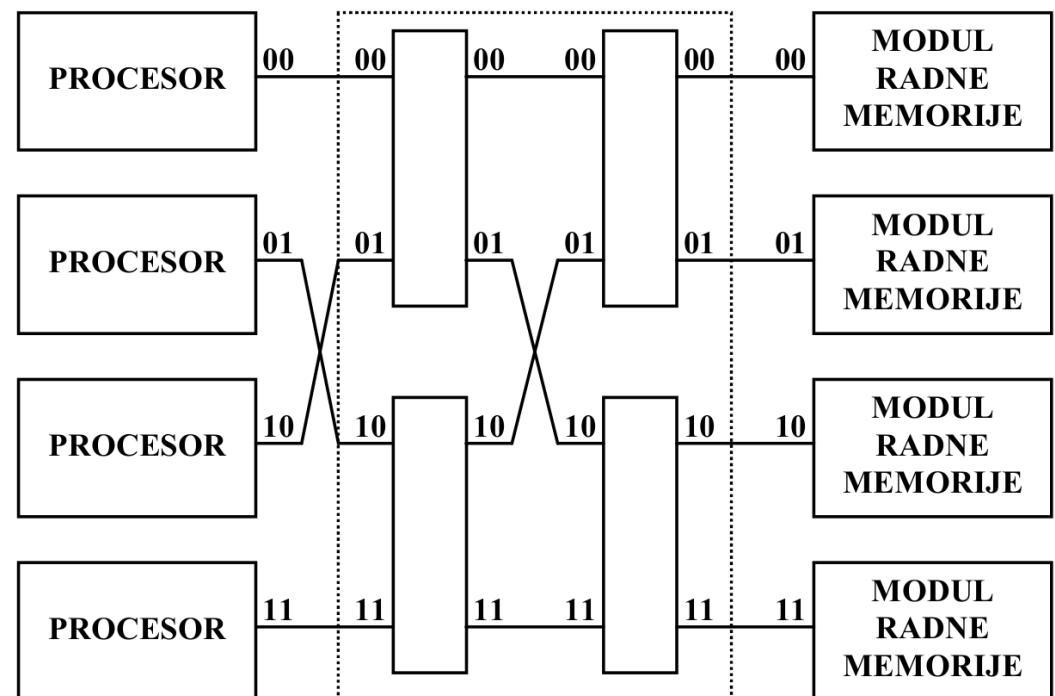
- **Višestepena prekidačka mreža**(engl. *multistage switching network*)
- Za više od 2 procesora/modula
- Binarna oznaka modula je deo poruke/adrese
- Prebacivanje prekidača na osnovu adrese



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

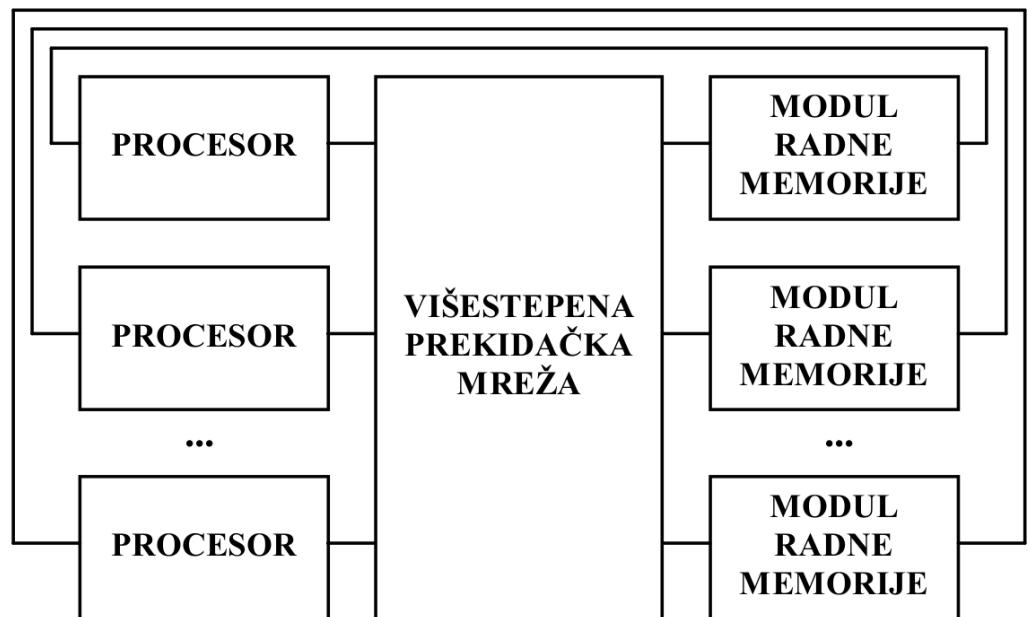
- Višestepena prekidačka mreža
 - Omega višestepena prekidačka mreža
 - istovremena veza 00/00, 01/01, ...
 - blokirajuća
 - Neblokirajuće



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

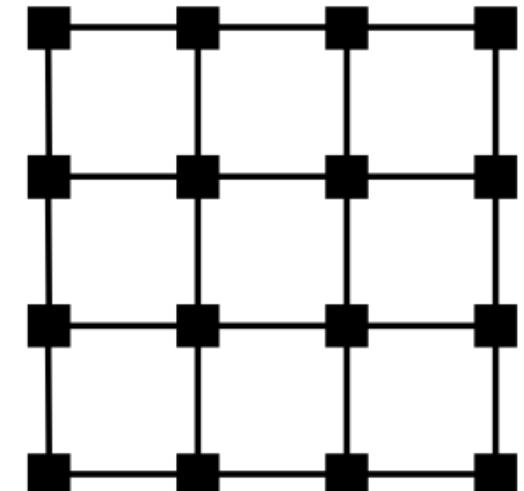
- Višestepena prekidačka mreža
 - prednost u odnosu na unakrsnu matricu?
 - mana?
- BBN Butterfly (sredina 1980-tih)
 - NUMA
 - 2/6 μ s
 - modul
 - 16× Motorola 68000
 - 16× IMB
 - do 96 procesora



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

- **Dinamičke i statičke**
- **Dvodimenzionalna mreža** (engl. *mesh, grid*)
 - statička
 - povezivanje SIMD procesnih elemenata
 - čvor - komunikacioni procesor + procesni element
 - direktna komunikacija sa 4 suseda
 - rubni elementi
 - spiralno
 - cilindrično



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

- Dvodimenzionalna mreža
 - Često korišćena za namenske SIMD računare
 - ILLIAC IV (engl. *ILLinois Automatic Computer*) - krajem 1960-tih
 - matrične operacije, parcijalne diferencijalne jednačine
 - 8×8 matrica, procesni elementi za aritmetiku 64-bitnih realnih brojeva
 - MPP (engl. *Massively Parallel Processor*) - krajem 1970-tih
 - analiza satelitskih slika
 - 128×128 matrica, jednobitni procesni elementi

Arhitektura računara IV generacije

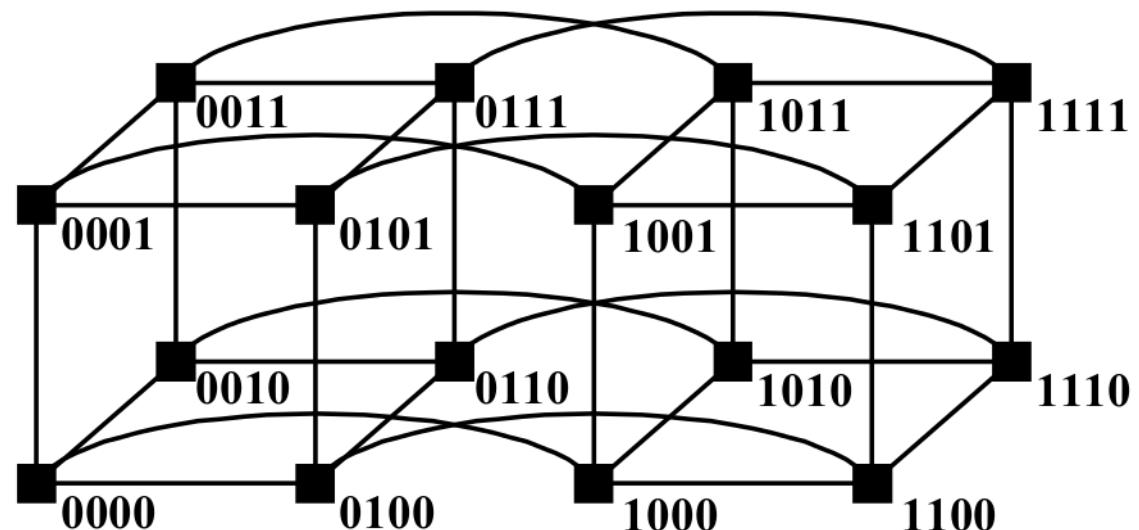
Spojne mreže

- Razmena poruka kod statickih mreža
 - kako ide komunikacija sa ostalim elementima?
 - zadatak komunikacionog procesora
 - adresa čvora
 - direktna veza samo sa čvorovima sa razlikom u bitu
 - pronalaženje najkraćeg puta
 - zavisno od broja različitih bita adrese
 - 8 čvorova – kocka

Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

- Razmena poruka kod statickih mreža
 - 16 i više čvorova - hiperekocka
 - 0001 -> 1100
 - 0000
 - 1000
 - 1100
 - 0100
 - 1100
 - 1001
 - 1000
 - 1100
 - 1101
 - 1100
 - ...
 - najveća udaljenost?



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

- Hiperkocka – kod SIMD i MIMD računara
 - CM-1 (engl. *Connection Machine*) – početak 1980-tih
 - SIMD paralelni računar
 - simbolička obrada: prepoznavanje uzoraka (engl. *pattern matching*), traženje (engl. *search*)
 - modul - 12-dimenzionalna hiperkocka
 - 4096 čvorova
 - komunikacioni procesor
 - 16x 1-bitni procesni elemenat
 - 16x 4096 bita lokalne memorije
 - lokalno povezani u 2D mesh
 - 24576 dvosmernih linija – 65536 1-bitnih procesnih elemenata, 268 Mbit memorije

Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

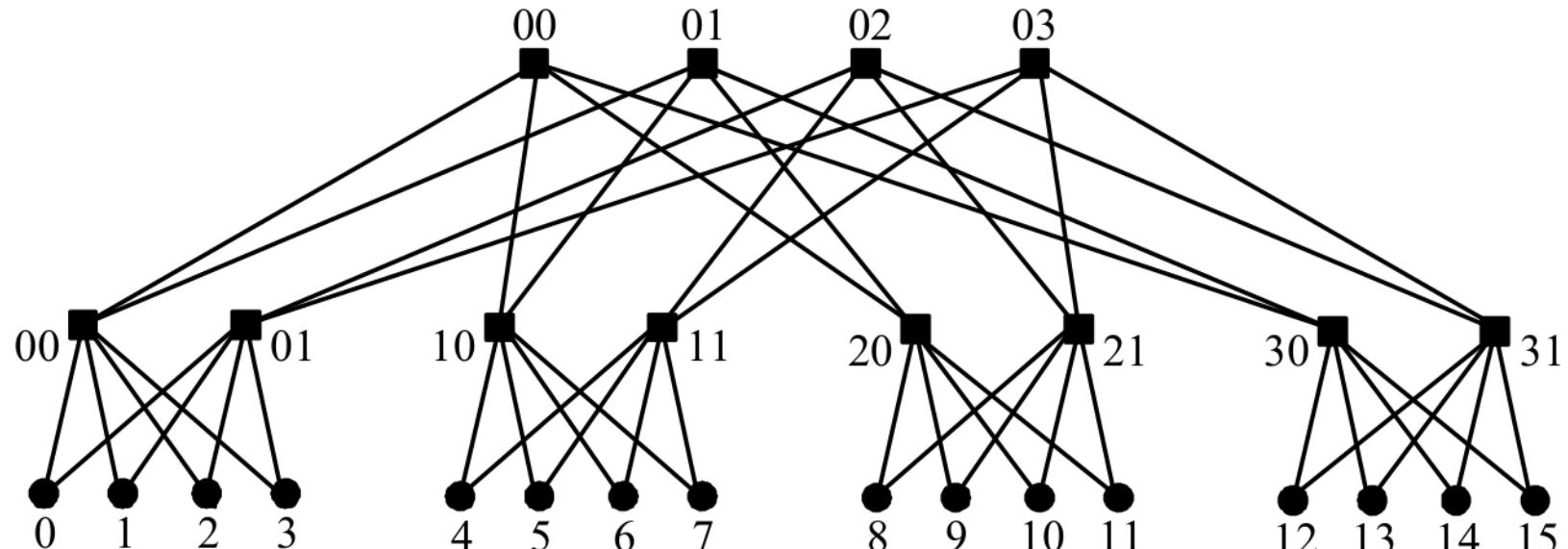
- Hiperkocka - kod SIMD i MIMD računara
 - *Intel Hypercube ili iPSC* (engl. *Intel Personal SuperComputer*) – sredina 1980-tih
 - multiračunar
 - modul – 5-dimenzionalna hiperkocka
 - 32 čvora
 - CPU Intel i80286
 - FPU
 - 512k memorije



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

- Statičke mreže – debelo drvo (engl. *fat-tree*)
- Razmena poruka između bilo koja dva čvora



- kvadrat – prekidač (engl. switch), krug – procesor

Arhitektura računara IV generacije

Barijerna sinhronizacija

- Problem iteracionih paralelnih proračuna
 - usklađivanje procesa na različitim procesorima
- Brojanje procesa koji su završili tekuću iteraciju
 - brojač – deljena lokacija
 - završetak iteracije
 - uvećanje brojača
 - provera da li su svi završili
 - nedeljivost čitanja i pisanja
 - čitaj-uvećaj-piši (engl. *fetch-and-add*)
 - zauzimanje brojača
 - spojna mreža
 - kontroler modula

Arhitektura računara IV generacije

Barijerna sinhronizacija

- Početak: brojač = 0
- Kraj: brojač = ?
- Ko anulira brojač?

```
void barrier(int *counter)
{ char state;
  state = (*counter < NUMBER) ;
  if(fetch_and_add(counter) == (2*NUMBER-1) )
    *counter = 0;
  while(state == (*counter < NUMBER)) ; }
```

Evolucijski period arhitekture računara oko 2000.

Arhitektura računara IV generacije

Dalje povećanje integracije

- ULSI (engl. *Ultra Large Scale Integration*)
- Mikroračunari dobijaju osobine velikih i mini računara
- Gubi se granica između mikro, mini i velikih računara
- Nova podela:
 - ugrađeni (engl. *embedded*) računari
 - radne stanice (engl. *desktop computer, workstation*)
 - serveri (engl. *servers*)

Arhitektura računara IV generacije

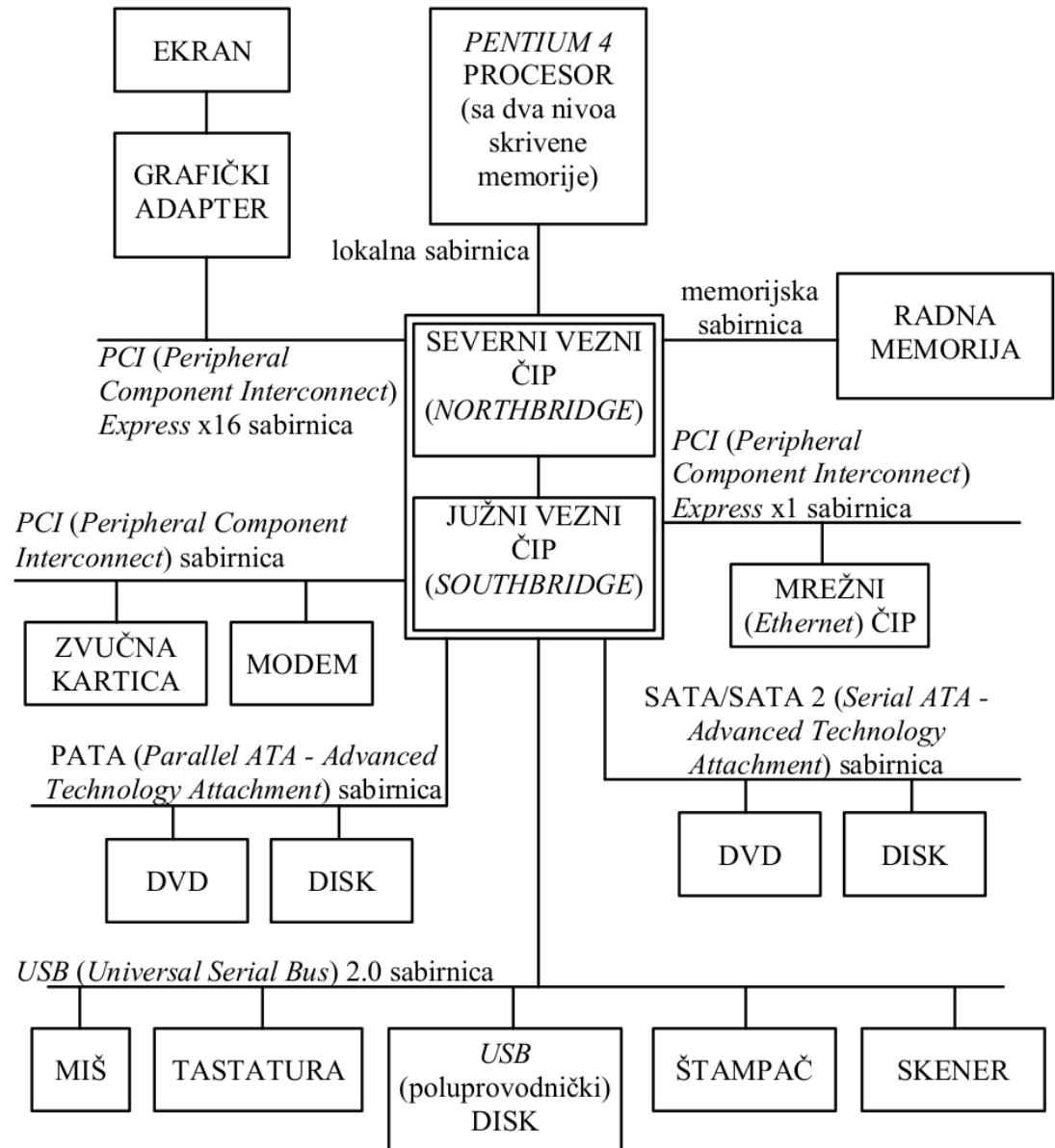
Ugrađeni računari

- Kontroleri/upravljački uređaji
 - industrijski pogoni
 - mala potrošnja (za baterijski napajane)
 - rad u nepovoljnim uslovima (temperatura, vlažnost,...)
 - kontroleri za HD, wireless, itd.
- Sistemi za rad u realnom vremenu (engl. *real-time systems*)
 - kontrola sistema u vozilima
- Obrada audio/video signala
 - DSP (engl. *digital signal processor*)
- Računari za jednokratnu upotrebu (engl. *disposable computer*)
 - RFID (engl. *Radio Frequency IDentification*)

Arhitektura računara IV generacije

Radne stanice

- Radne stanice:
 - veliki adresni prostor
 - virtuelna memorija
 - više sabirnica
 - velika masovna memorija
 - primer: Intel Pentium 4



Arhitektura računara IV generacije

Serveri

- Multiprocesori
 - deljena radna memorija (engl. *shared-memory systems*)
 - razmena podataka putem deljenih lokacija
 - problem konzistencije
 - više procesora
 - skrivena memorija
 - pravila ponašanja memorije (engl. *memory semantics*)
 - stroga konzistentnost (engl. *strict consistency*)
 - potpuna serijalizacija pristupa memoriji
 - smanjuje stepen paralelizma
 - sekvencijalna konzistentnost (engl. *sequential consistency*)
 - dozvoljava da čitanje ne preuzima poslednju vrednost
 - zahteva da svaki procesor vidi isti redosled upisa

Arhitektura računara IV generacije

Serveri

- Multiprocesori
 - COMA (engl. *cache only memory access*)
 - deljena memorija se ponaša kao skrivena
 - svaki procesor ima svoju kopiju
 - posebni protokoli (engl. *cache coherence protocols*)
 - SEQUENT NUMA-Q 2000
 - Modul:
 - 4x INTEL PENTIUM Pro
 - 4GB memorije
 - kontroler sa 32MB memorije za deljenu memoriju

Arhitektura računara IV generacije

Serveri

- Multiračunari
 - distribuirana radna memorija (engl. *distributed-memory system*)
 - razmena poruka
 - MPI (engl. *Message Passing Interface*)
 - super-računari
 - procesori sa sopstvenom memorijom
 - brze, namenske spojne mreže
 - MPP (engl. *massively parallel processors*)
 - CRAY T3E
 - 2048x DEC ALPHA 21164 + 2GB RAM
 - dvosmerna trodimenzionalna mreža (engl. *full-duplex 3D torus*) - 6 veza ka susedima
 - dodatna mreža za prenos poruka

Arhitektura računara IV generacije

Serveri

- Multiračunari
 - klasteri (engl. *cluster, cluster of workstations*) – Beowulf klaster
 - radne stanice
 - komercijalne spojne mreže
 - Ethernet
 - prekidači (engl. *switch*)
 - sistemske mreže - SAN (engl. *storage or system area network*)
 - Google
 - I klaster – 5120 radnih stanica
 - Pentium 4
 - 512 MB memorije
 - 80GB hard disk, napajanje, hlađenje
 - ormari sa 80 radnih stanica
 - switch-evi

Arhitektura računara IV generacije

Paralelizam unutar procesora

- *Instruction Level Parallelism (ILP)*
 - jedna protočna struktura
 - više protočnih struktura (super-skalari)
- Spekulativno izvršavanje (engl. *speculative execution*)

```
if (a>b)
    a = a - b;
else
    b = b - a;
```

- unapred se izvrše naredbe obe grane
 - kasnije se bira koja se koristi
- problem obrade izuzetka

Arhitektura računara IV generacije

Paralelizam unutar procesora

- Eksplisitno obeležavanje nezavisnih delova programa – niti (engl. *thread level parallelism – TLP*)
 - unutar niti sekvencijalno
 - razne niti paralelno
- Nezavisne naredbe
 - Pronalazi ih procesor ili kompjuter
 - generisanje naredbi tako da je protočni paralelizam što veći
 - pronalaženje nezavisnih naredbi
 - dugačak mašinski format naredbe VLIW (engl. *very long instruction word*)
 - računari sa eksplisitnim paralelnim naredbama EPIC (engl. *explicitly parallel instruction computers*)

Arhitektura računara IV generacije

Paralelizam unutar procesora

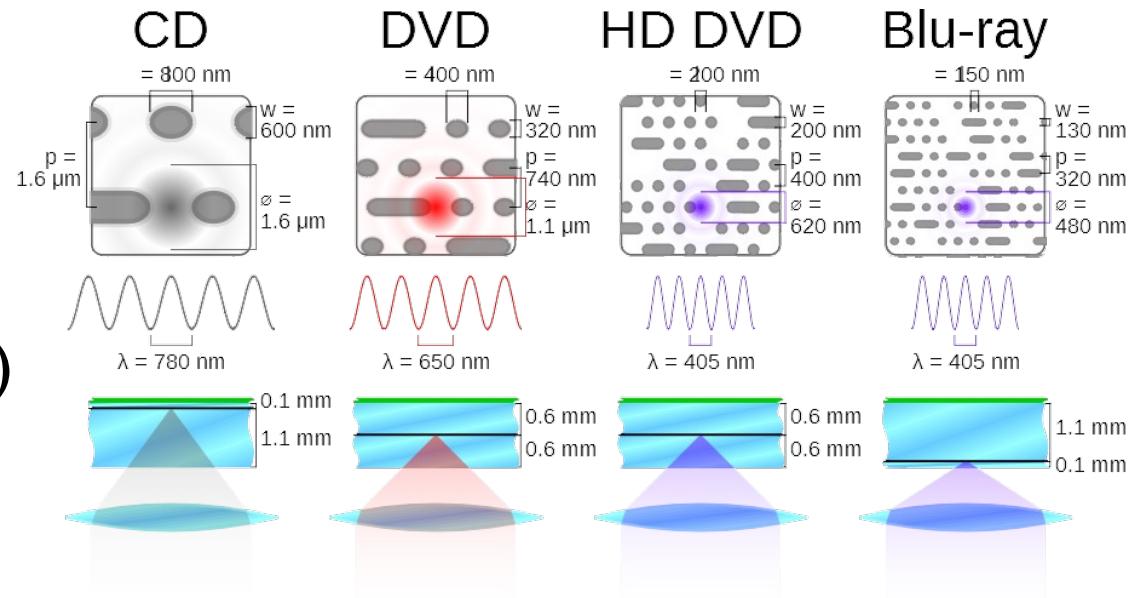
- Računari sa eksplisitnim paralelnim naredbama
 - potrebno što veće preklapanje “dugačkih” naredbi
 - izbegavanje grananja
 - predikatske naredbe (engl. *predicated instruction*)
 - prvo se proveri predikatski registar (engl. *predicate register*)
 - ako predikat (uslov) važi, izvršavaju se
 - ako ne važi, ne izvršavaju se
 - sve naredbe iz jedne grane odgovaraju istoj vrednosti predikata
 - posebne naredbe za postavljanje predikatskog регистра

```
if (a>b)
    a = a - b;
else
    b = b - a;
```

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija optičkih diskova

- Plavi poluprovodnički laser
 - manja talasna dužina od crvenog
 - razvoj završen krajem 1990-tih
 - Nobelova nagrada za fiziku 2014.
- HD DVD (engl. *High Definition/Density Digital Versatile/Video Disc*)
 - 15/30GB
 - povučen 2008.
- Blu-ray
 - 25/50GB
- UDF (*Universal Disk Format*)



Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel Itanium

- RISC EPIC
- 64-bitni adresni prostor
- Registri:
 - 128× 64 bita opšte namene
 - 128× 82 bita realni brojevi
 - 64× 1 bit predikatski
 - 8× 64 bita registri za indirektne skokove (engl. *branch registers*)
 - razni namenski registri

Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi Intel Itanium

- Format naredbi
 - sve su predikatske i obavljaju se u grupama (engl. *bundle*)

41 bit	41 bit	41 bit	5 bita
--------	--------	--------	--------

- prva 3 polja su kodovi naredbi
 - kod tipa naredbe
 - kod predikatskog registra
 - ostalo zavisi od tipa naredbe
 - relativni kod naredbe
 - kodovi registara
 - ...
- 5-bitni kod svežnja (engl. *bundle*)
 - oznaka kraja označava kraj nezavisnih naredbi
- 3 nivoa skrivene memorije

Evoluciioni period arhitekture računara oko 2010.

Arhitektura računara IV generacije

Dalje povećanje gustine tranzistora na čipu

- Prvi dvojezgarni procesori
 - IBM POWER4 PowerPC
 - AMD Athlon64 X2
 - inicijalno jednostavno 2× CPU
 - kasnije 3, 4, 6, 8, 10, 12, ...
 - omogućavaju viši nivo paralelizma
- Hibridne arhitekture
 - IBM Cell
 - 1× PowerPC
 - 8× SIMD jezgro
 - brza interna sabirnica

Arhitektura računara IV generacije

Procesori

- Vodeće mesto x86
- Veći ulazak ARM procesora
 - prenosni uređaji
 - PDA
 - telefoni
 - netbook/laptop
 - 2011. – prelazak sa 32 na 64 bita
 - povećanje broja jezgara
 - razdvojeni razvoj i proizvodnja
 - više proizvođača

Arhitektura računara IV generacije

Procesori

- IBM POWER8 12-jezgarni procesor
- SPARC 16-jezgarni
 - Fujitsu SPARC64 X+
 - Oracle SPARC T5
- Loongson 3B 8-jezgarni procesor
 - MIPS64 arhitektura naredbi
 - hardverski podržana emulacija x86
 - nastao delimično kao odgovor na kontrolisane isporuke x86 procesora

Arhitektura računara IV generacije

Procesori

- Istorijat ARM procesora
 - Acorn Computers
 - 1979. Acorn Atom
 - 1980. BBC Microelectronics Education Programme
 - 1981. BBC B
 - 1982. Acorn Electron
 - 1983. Acorn RISC Machine – ARM
 - delimično inspirisan sa 6502
 - dodatni procesor za BBC B
 - korišćen za simulacioni i CAD softver za razvoj ARM2
 - 1987. Acorn Archimedes, ARM
 - RISC OS



Arhitektura računara IV generacije

Procesori

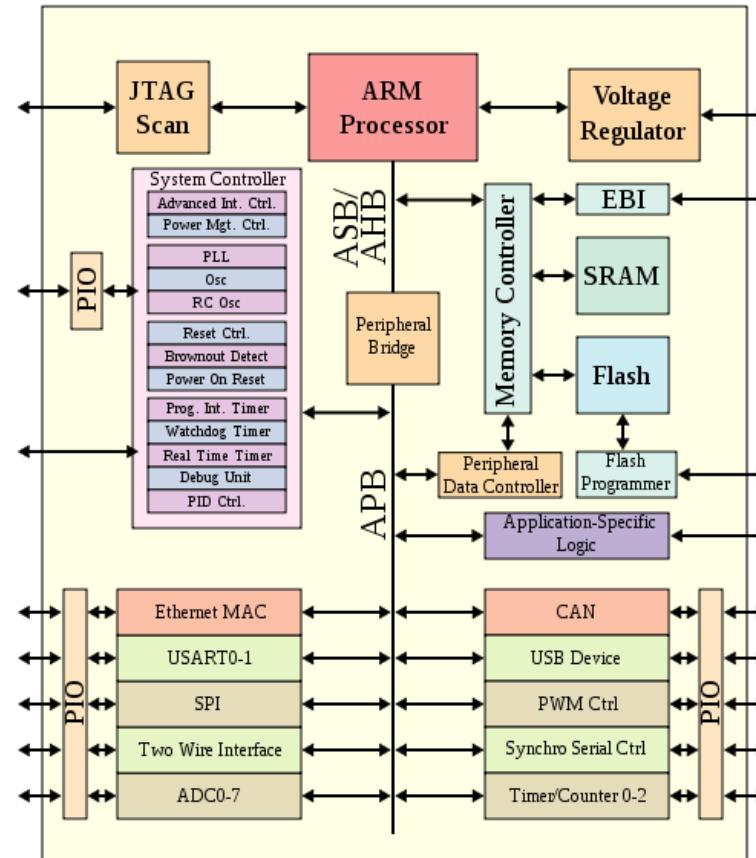
- Istorijat ARM procesora
 - Acorn Computers
 - 1989. A3000:ARM2
 - 32-bitni procesor
 - 32-bitna data magistrala
 - 26-bitni adresni prostor
 - 1991. A5000
 - 1992. A3010,A3020,A7000:ARM250,ARM3
 - 1994. RISC PC: ARM3,ARM4
 - 1990. izdvajanje ARM Holdings
 - 1992. ARM6 (saradnja sa Apple-om)
 - Apple Newton PDA
 - DEC StrongARM
 - Intel XScale



Arhitektura računara IV generacije

Procesori

- Istorijat ARM procesora
 - mnogo proizvođača (Samsung, Apple, Qualcomm, Broadcom, NVidia, AMD, Intel, Huawei...)
 - prenosni uređaji
 - više jezgara i SoC (engl. System-on-Chip) pristup
 - dalji razvoj jezgara
 - više od 100 milijardi ARM procesora proizvedenih do kraja 2017.



arm

Arhitektura računara IV generacije

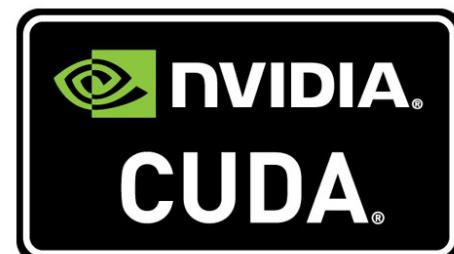
Internet

- Globalno umrežavanje računara
- Sigurnost
 - bagovi u OS-u
 - bagovi u programima
 - mogućnost upada u sistem
 - krađa informacija (*spyware*)
 - botnet, enkripcija (*malware*)
- Praćenje korisnika
 - cookie
 - od strane ISP-a
- Anoniman pristup
 - TOR (engl. *The Onion Router*)

Arhitektura računara IV generacije

Grafički procesori

- Povećanje broja jezgara
 - 3D proračuni se mogu dobro paralelizovati
- Upotreba za generalne proračune – GPGPU (engl. *General-Purpose computing on Graphics Processing Units*), poznato i kao GPU Computing
 - 2007. NVidia CUDA 1.0 (Compute Unified Device Architecture)
 - 2008. otvoreni standard OpenCL 1.0
 - Nvidia Tesla, Intel Xeon Phi

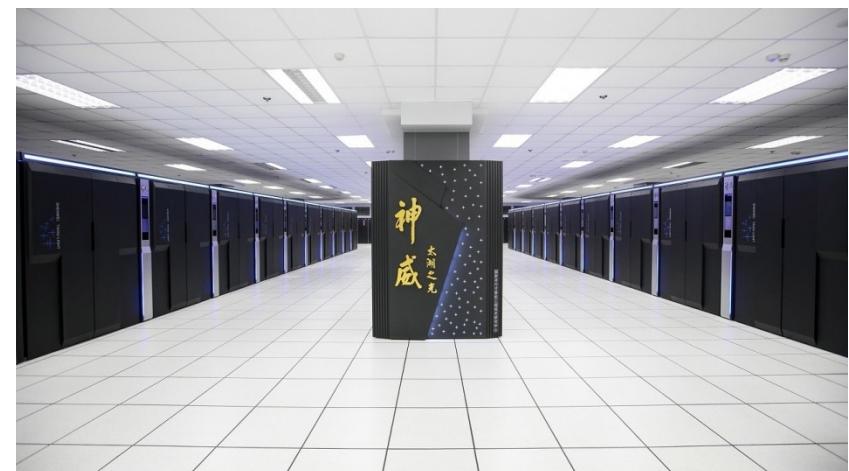


OpenCL

Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

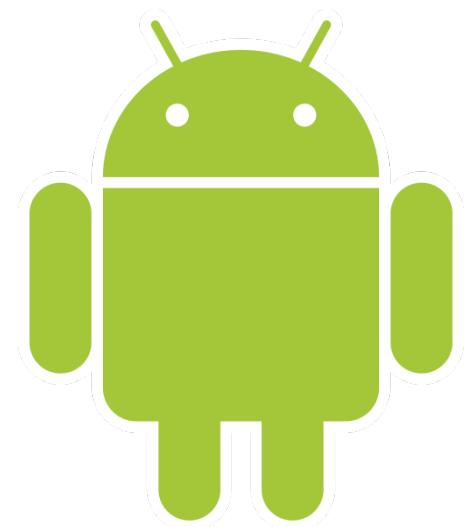
- Top500 (www.top500.org) i Green500 (www.top500.org/green500)
- Najbrži super-računar (2020): Summit
- Uglavnom od tržišno dostupnih komponenti
- Težnja ka smanjenju potrošnje
- 2015. - 85% 64-bit x86, 97% Linux
- 2016. - 88% ≥ 8 jezgara, 100% Linux
- Hibridni super-računari
 - 2008 - IBM Roadrunner
 - čvor: 64bit x86 + PowerXCell
 - Intel Xeon Phi, Nvidia Tesla



Arhitektura računara IV generacije

Prenosni (mobilni) računarski uređaji

- Mobilni telefoni većih mogućnosti (Nokia Symbian)
- Ekran osetljiv na dodir
- Pojava "pametnih" telefona (engl. smartphone)
- Operativni sistemi za prenosne uređaje
 - iOS
 - Android
 - Windows Mobile
- Današnji telefoni/tableti:
 - 2,4,8-jezgarni procesori
 - više GB memorije
 - dominatno ARM procesori
 - dominatno Android/iOS



Arhitektura računara IV generacije

Arhitektura naredbi AMD Athlon 64/Opteron

- Prvi x86 64-bitni procesori
 - 64-bitni adresni prostor
 - PAE (engl. *Physical Address Extension*), Pentium Pro, 1995
 - dodatne adresne linije
 - i dalje 32-bitne virtuelne adrese
 - 64-bitni registri
 - ugrađen memorijski kontroler
 - registri
 - 51× sistemski registar
 - 16× 64-bit registara opšte namene
 - 8× 64-bit realni brojevi
 - 16× 256-bit SIMD registri
 - više status/kontrolnih registara
 - kompleksan mašinski format sa prefiksima i postfiksima



Procena osobina računara

Procena osobina računara

Usklađivanje komponenti različitih proizvođača

Procesor

- Veličina naredbi
 - broj ciklusa
- Vreme izvršavanja
 - trajanje ciklusa
- Prosečno vreme izvršavanja
 - suma proizvoda verovatnoća izvršavanja pojedinih tipova procesorskih naredbi
 - empirijski određene verovatnoće

Procena osobina računara

Procesor

- Prosečno vreme izvršavanja
 - Gibson mix
 - naredbe prenosa između registara i memorije 0.31
 - uslovne naredbe 0.17
 - naredbe celobrojne aritmetike 0.07
 - naredbe aritmetike realnih brojeva 0.12
 - ostale naredbe 0.33
- Srednji broj (frekvencija) naredbi u jedinici vremena
 - frekvencija / srednji broj ciklusa po naredbi
 - MIPS (engl. *million instructions per second*)
 - nije podesno za poređenje različitih arhitektura, npr. CISC/RISC
- Broj operacija sa pokretnim zarezom u jedinici vremena
 - megaFLOPS, MFLOPS (engl. *million floating-point operations per second*)
 - iz istih razloga nepodesno

Procena osobina računara

Radna memorija

- veličina reči
- broj reči
- vreme ciklusa
- propusnost = $1/vreme\ ciklusa$

Sabirnica

- propusnost

Disk

- veličina bloka
- ukupan broj blokova
- srednje vreme pristupa
- propusnost = $1/srednje\ vreme\ pristupa$

Procena osobina računara

Uspešnost računara

- Osobine i usaglašenost njegovih organizacionih komponenti
- Osobine izvršavanog programa, odnosno od toga da li u njemu preovlađuju proračuni, interaktivni rad i/ili ulaz i izlaz podataka
- Operativni sistem
- Kompajler

Nije lako proceniti ponašanje računara:

- **Procena osobina na osnovu pojedinačnih komponenti nije dobra!**

Procena osobina računara

Procena uspešnosti na osnovu celine

- Vreme potrebno za izvšavanje reprezentativnih programa (engl. *benchmark*)
 - Delovi odabralih programa
 - Kernel
 - Livermore loops (LFK)
 - LINPACK/LAPACK
 - Posebni programi - miks naredbi koje se u proseku nalaze u određenim klasama programa
 - Sintetički testovi (engl. *synthetic benchmarks*)
 - Whetstone
 - Dhrystone
 - **Jedini pravi test - lično iskustvo sa programima koje koristite!**

Savremeni personalni računar

Savremeni personalni računar



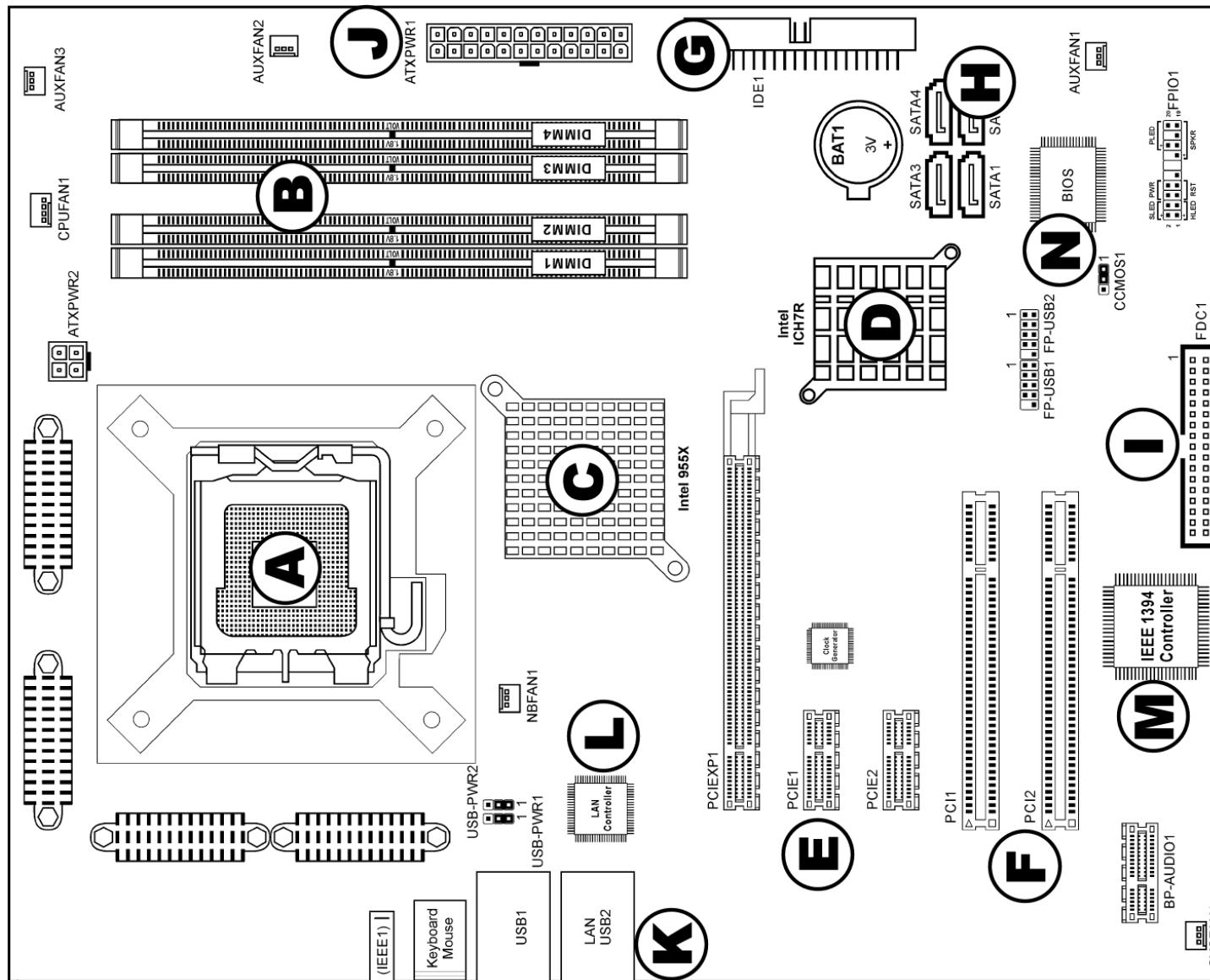
Osnovni delovi

- Procesor
- Matična ploča
- Radna memorija
- Periferijski uređaji
 - Uređaji masovne memorije
 - Grafički i zvučni adapter
 - Štampač, skener, ...
- Kućište, napajanje, sistem za hlađenje

Procesor

- Najznačajniji proizvođači Intel i AMD
 - Sve više mobilnih ARM-baziranih računara
- Bitne karakteristike
 - Tip, revizija i broj jezgara
 - Podržani skup proširenih naredbi (SSE, SSE II, 3DNow)
 - Tip podnožja (engl. socket)
 - Frekvencija rada
 - Količina disipirane topline
- Dual-core, quad-core, hex-core, octa-core procesori, mnogojezgarni (48 jezgara i više)
- 64-bitni procesori (AMD Opteron)

Matična ploča



Matična ploča

- Osnovni delovi:
 - Podnožje za procesor
 - Podnožja za memorijske module
 - Konektori za ulazno-izlazne uređaje
 - Konektori za magistrale
 - Vezni (engl. *bridge*) čip(ovi)
 - BIOS (ili ekvivalentni) čip
 - Konektori za napajanje

Vezni čip(ovi)

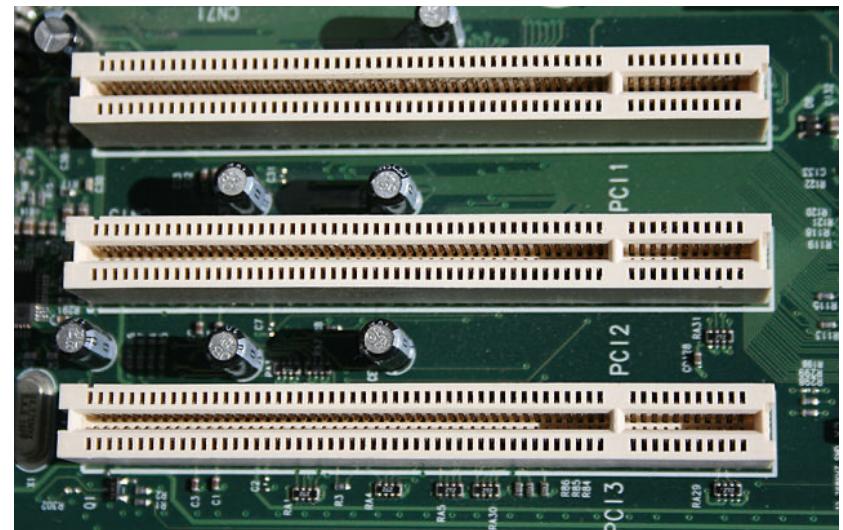
- Severni vezni čip (engl. *northbridge*)
 - Memorijski kontroler
 - Kontroler magistrale ka procesoru
 - Kontroler magistrale za grafički adapter
- Južni vezni čip (engl. *southbridge*)
 - Kontroler U/I magistrale
 - USB kontroler
 - Kontroler magistrale za masovnu memoriju
 - Veza sa BIOS čipom, tastaturom i mišem
- Integracija memorijskog kontrolera u procesor (AMD 64-bit)

BIOS čip

- BIOS (engl. *Basic Input/Output System*)
- Flash memorija sa inicijalnim programom
- Punjenje i pokretanje operativnog sistema
- Podešavanje parametara matične ploče
- Posebni BIOS-i periferijskih uređaja
- Čuvanje parametara u baterijski napajanom RAM-u
- Ograničenja (16-bitni, masovna memorija)
- UEFI (engl. *Unified Extensible Firmware Interface*)
 - Problemi sa potpisivanjem BootLoader-a
- *OpenBIOS/OpenFirmware*
- *Coreboot*

PCI magistrala

- PCI (engl. *Peripheral Component Interconnect*)
- Hardver
 - Paralelna veza sa PCI karticama
 - 32-bitna (124 pina) ili 64-bitna (188 pinova)
 - Frekvencija rada od 33/66MHz
 - PnP (engl. *Plug and Play*)
- Upotreba
 - Zvučne i mrežne kartice
 - Starije grafičke kartice
 - Dodatni USB, FireWire, ATA kontroleri



AGP magistrala

- AGP (engl. *Accelerated Graphics Port*)
- Uvedena zbog potreba grafičkih adaptera
- Frekvencija rada 66MHz
- Konektori sa 124 pina
- Brzine rada 1× do 8×
- Danas istisnuta od strane PCIe, samo na prilično starim pločama



PCIe magistrala

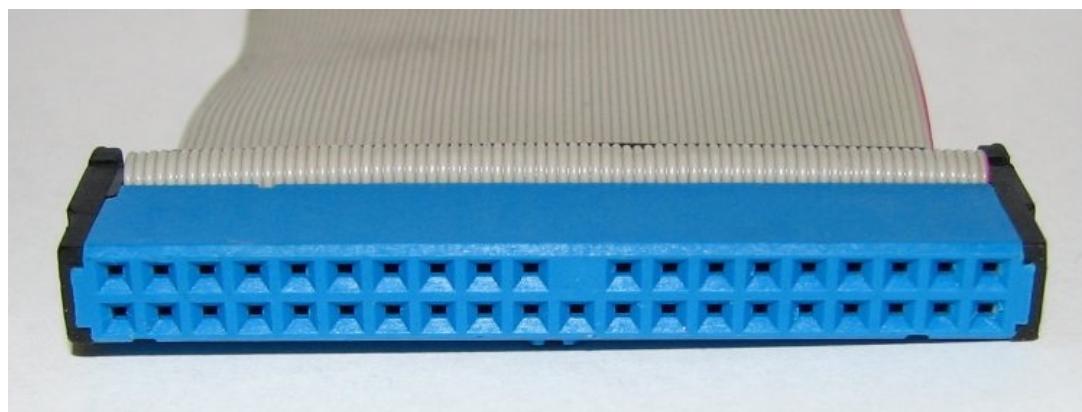
- Hardver
 - Serijska veza sa PCIe karticama
 - Hot-plug
 - Jednostruka ili višestruka veza ($1\times$ do $32\times$)
 - Više tipova konektora ($1\times$ do $32\times$)
- Upotreba
 - Grafičke kartice
 - SLI (engl. *Scalable Link Interface*, nVidia), odnosno *CrossFire* (ATI)
 - Još uvek je toku potpuni prelazak sa PCI na PCIe (mrežne kartice, RAID kontroleri)



ATA (IDE) magistrala

- ATA (engl. *Advanced Technology Attachment*)
- Namenjena uređajima masovne memorije
- Paralelna veza ka uređajima
- 40 ili 80-žilni kabl
- Istisnuta od strane SATA magistrale
- Na starijim pločama još uvek koegzistira sa SATA magistralom

aTa
Bus



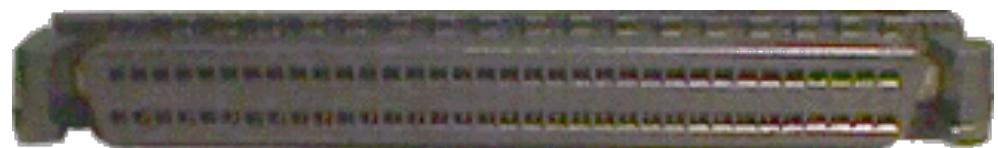
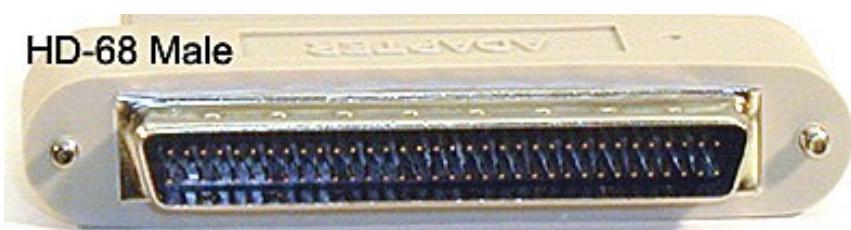
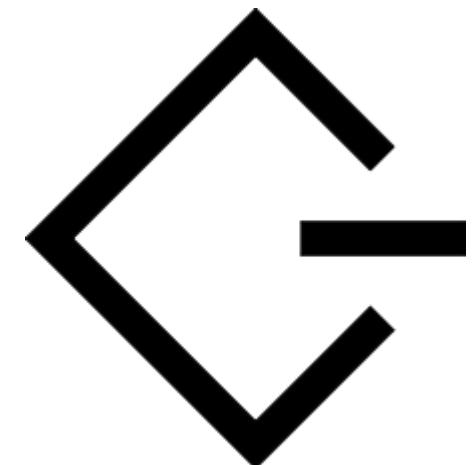
SATA magistrala

- Serial ATA
- Namenjena uređajima masovne memorije
- Serijska veza ka uređajima
- 7-žilni kabl
- Hot-plug
- Svi novi hard diskovi su za SATA magistralu
- eSATA (engl. *External SATA*)



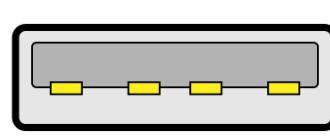
SCSI magistrala

- SCSI (engl. *Small Computer System Interface*)
- Korišćena za vezu ka brzim diskovima za servere
- 8 i 16-bitna paralelna veza
- Do 8 uređaja na jedan konektor (*chain*)
- Konektori sa 50 do 80 pinova
- SAS (engl. *Serial Attached SCSI*) – omogućava i povezivanje SATA diskova

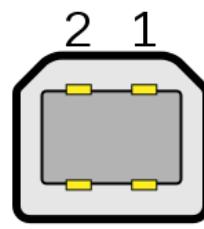


USB magistrala

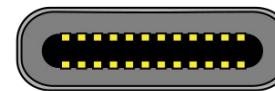
- USB (engl. *Universal Serial Bus*)
- Povezivanje relativno sporih uređaja
- Hot-plug
- USB 1.0 uređaji – tastatura, miš, štampač, skener, Flash diskovi, Web kamere, fotoaparati,...
- USB 2.0 – povećanje brzine sa 12 Mb/s na 480Mb/s
- USB 3.0 – preko 3 Gb/s
- Rad na USB 4.0



Type A



Type B

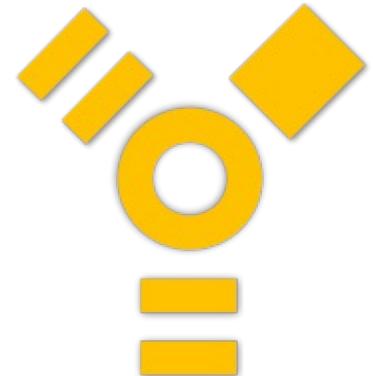


Type-C



FireWire magistrala

- Standard IEEE 1394
- Povezivanje brzih periferijskih uređaja
- Serijska veza, 4 i 6-pinski konektori
- Danas uglavnom za video kamere, kamkodere i sl.
- Za ostale upotrebe, istisnuta od strane USB



Thunderbolt magistrala

- Intel, zamena svih postojećih magistrala (SCSI, SATA, USB, FireWire, PCIe, HDMI)
- Optička veza, $2 \times 10 \text{ GB/s}$ (moguće 100)
- Uvedena i bakarna varijanta
- Dužina kabla preko 100 m
- Podrška za propuštanje drugih protokola



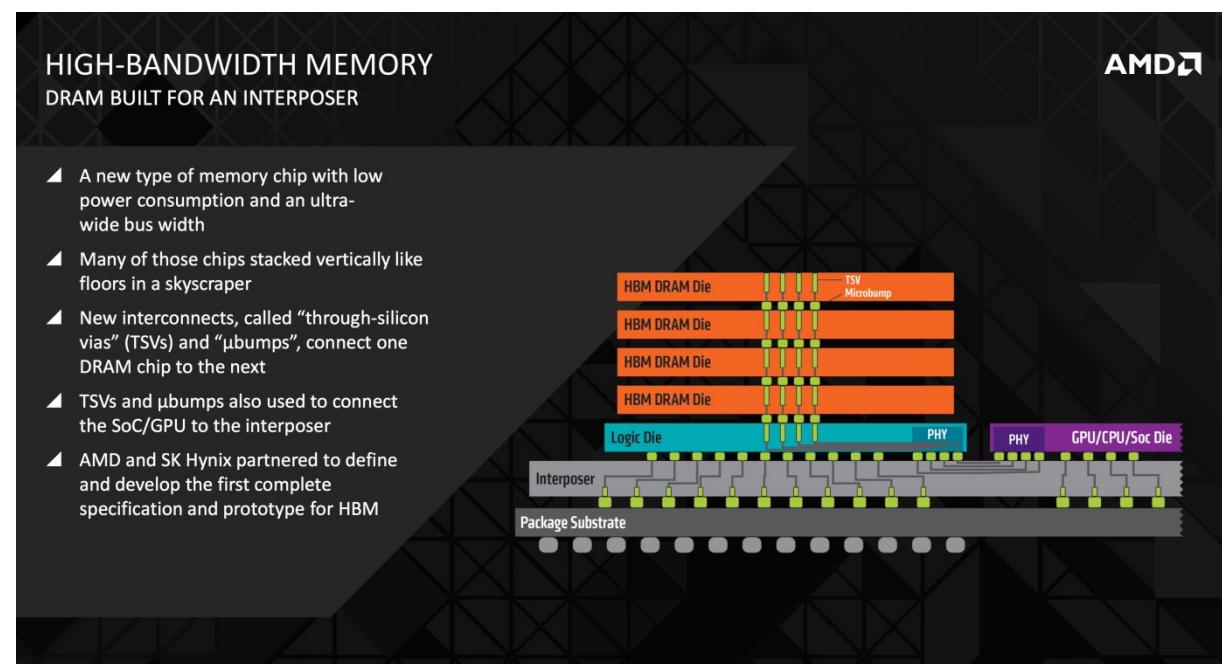
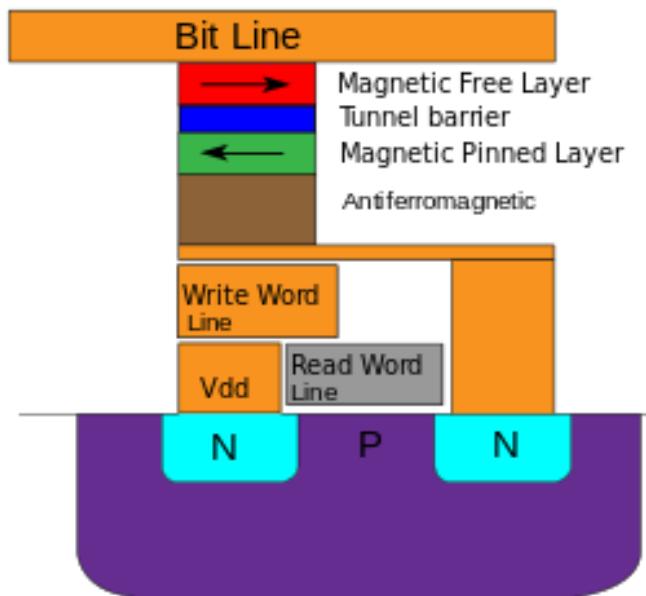
Radna memorija

- DIMM (engl. *Dual In-Line Memory Module*)
- DDR (engl. *Double Data Rate*) memorija
- 2 operacije u jednom ciklusu takta
- Oznaka modula sadrži brzinu protoka
- DDR2 – poboljšanja u protoku, frekvenciji rada i potrošnji; DDR3, DDR4 – unapređenja
- SODIMM (engl. *Small Outline DIMM*) za laptopove, GDDR5 za grafičke karte



Radna memorija

- Non-volatile memory (MRAM, F-RAM, ...)
- AMD/Hynix HBM (High Bandwidth Memory)



Grafički adapter

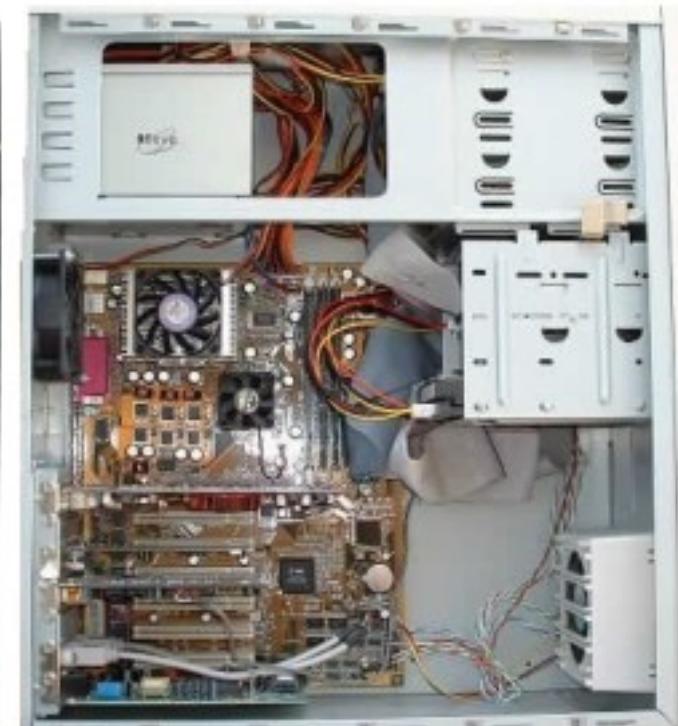
- PCIe magistrala
- DDR/GDDR memorija, više GB memorije (i do 32 GB)
- Veliki broj jezgara, mogućnost za GPGPU
- CUDA , OpenCL
- Ugradnja grafičkog adaptora u procesor (Intel Core i5 661)



OpenCL

Kućište

- Osnovni tipovi su desktop i tower
- Tower kućišta: mini, midi i big
- Računari ugrađeni u monitor, tableti
- Ventilacija, pristup komponentama



Napajanje i hlađenje

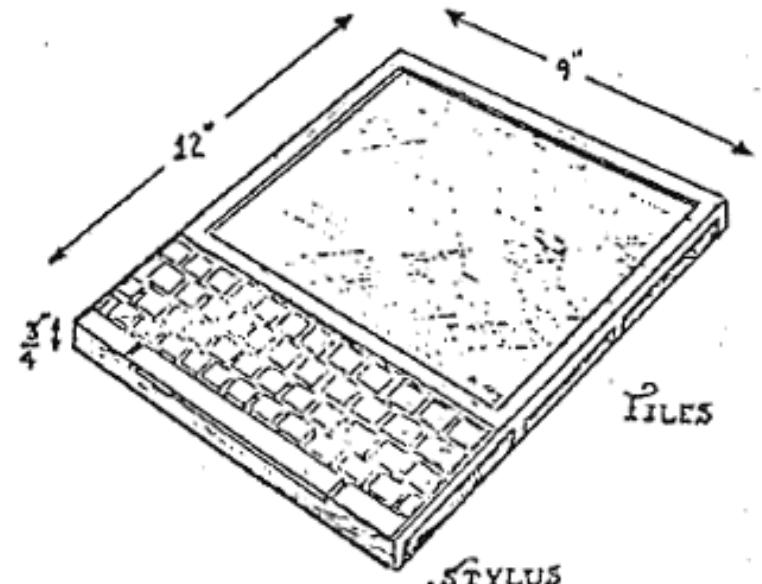
- ATX (engl. *Advanced Technology eXtended*) napajanje
 - Snaga mora biti dovoljna za sve komponente
 - Mogućnost softverske kontrole
- UPS (engl. *Uninterruptible Power Supply*)
- Hlađenje
 - Sve bitnije komponente imaju sopstveno hlađenje (procesor, grafički adapter, vezni čipovi, hard diskovi, ...)
 - Više ventilatora na kućištu za odvođenje i uvođenje vazduha
 - Hlađenje tečnostima

Prenosni računari

1972. **Alan Kay** objavljuje rad koji opisuje
Dynabook

1975. IBM 5100, 24 kg, AC

1981. Osborne I, 10 kg, AC



Prenosni računari

1981. Epson HX-20

- LCD ekran
- punjiva baterija
- štampač
- kasetna jedinica



www.old-computers.com

1981/1982. Dulmont Magnum

- Custom MS DOS



Prenosni računari

1985. Kaypro 2000

- komercijalni IBM-kompatibilni laptop



1985. Toshiba T1100

- masovno prodavan

Prenosni računari

1989. Atari Portfolio

- Palmtop PC

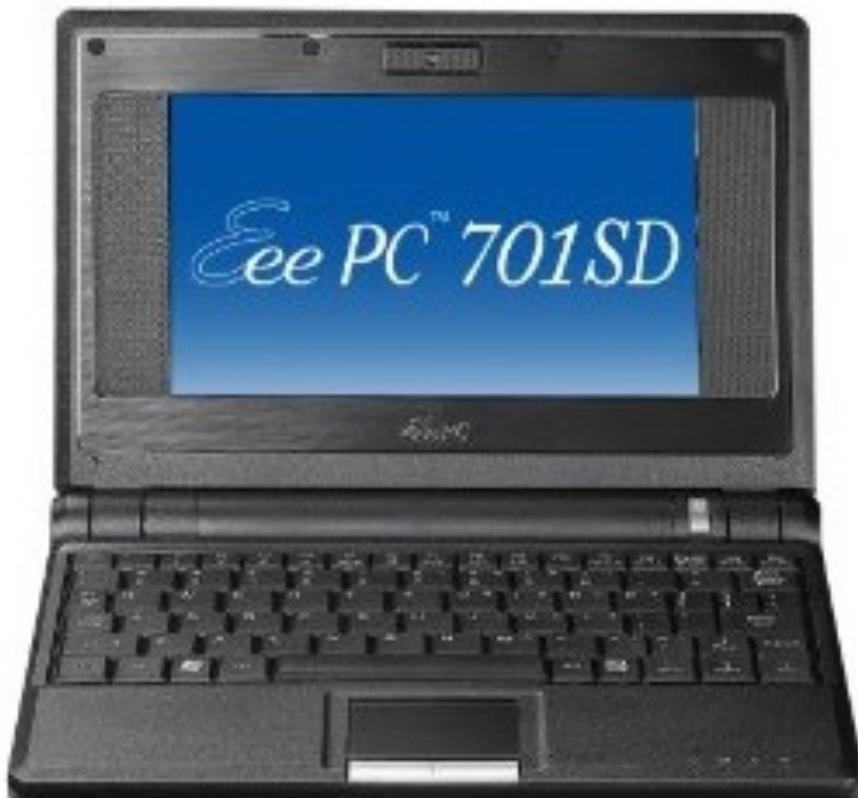


1991. Apple PowerBook

Prenosni računari

1994. IBM RS/6000 N40

- PowerPC, AIX

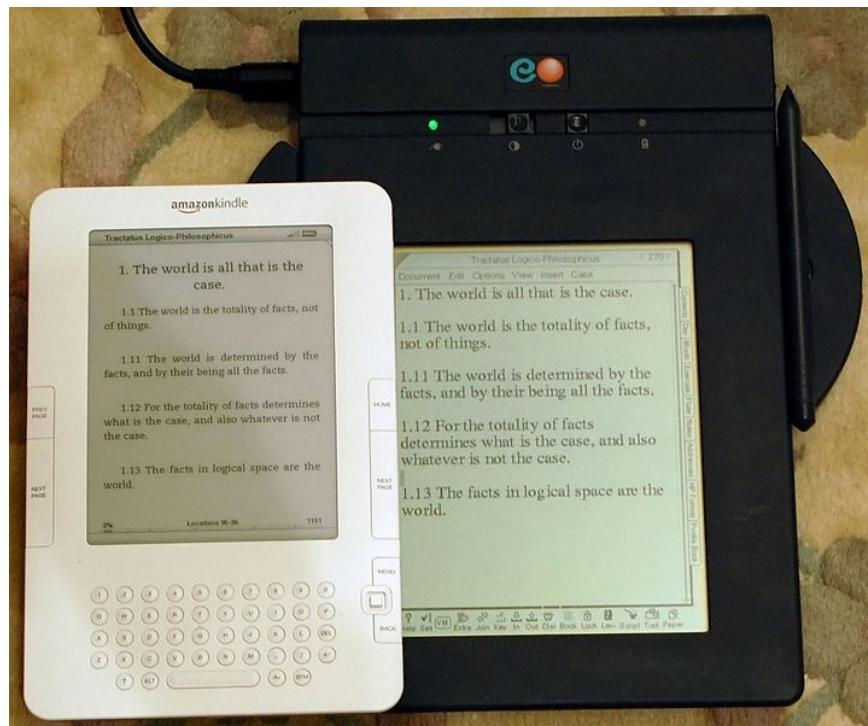


2007. Asus Eee PC netbook

- Prvi uspešan ultra-portable PC

Prenosni računari

1989. GRiDPad



1991.
EO Personal Communicator

Prenosni računari

1993. Apple Newton

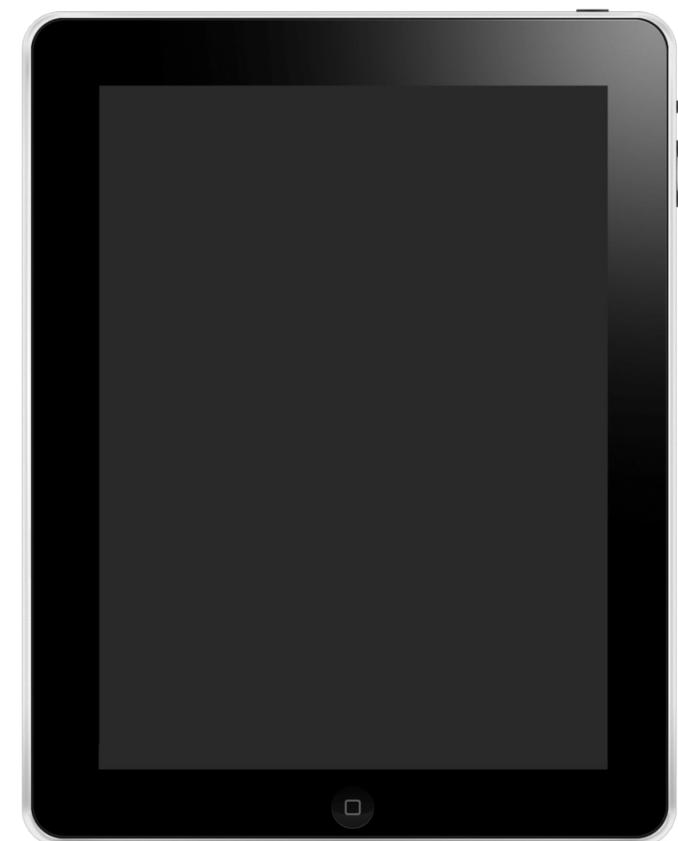
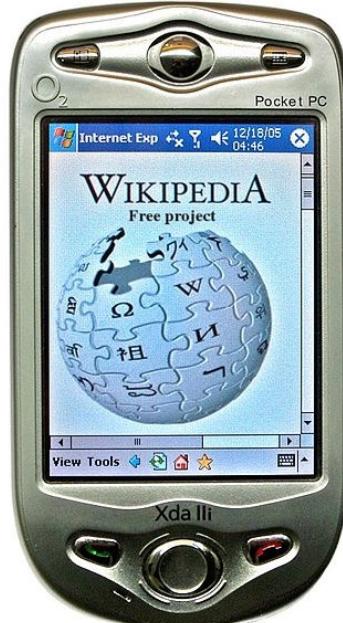


1996. PalmPilot

2000. MS Pocket PC

2007. iPhone (**smartphone**)

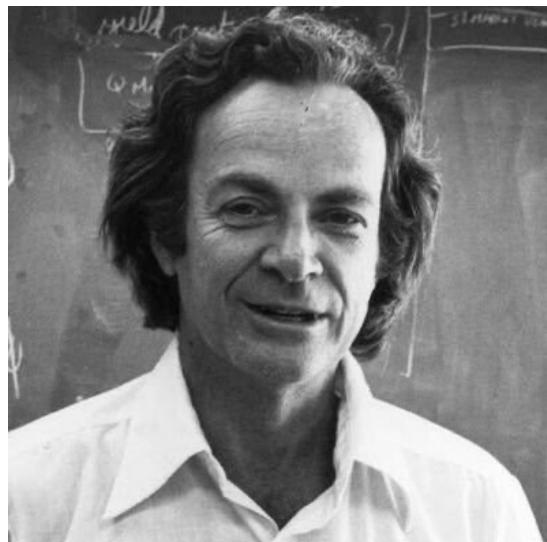
2010. iPad (**tablet PC**)



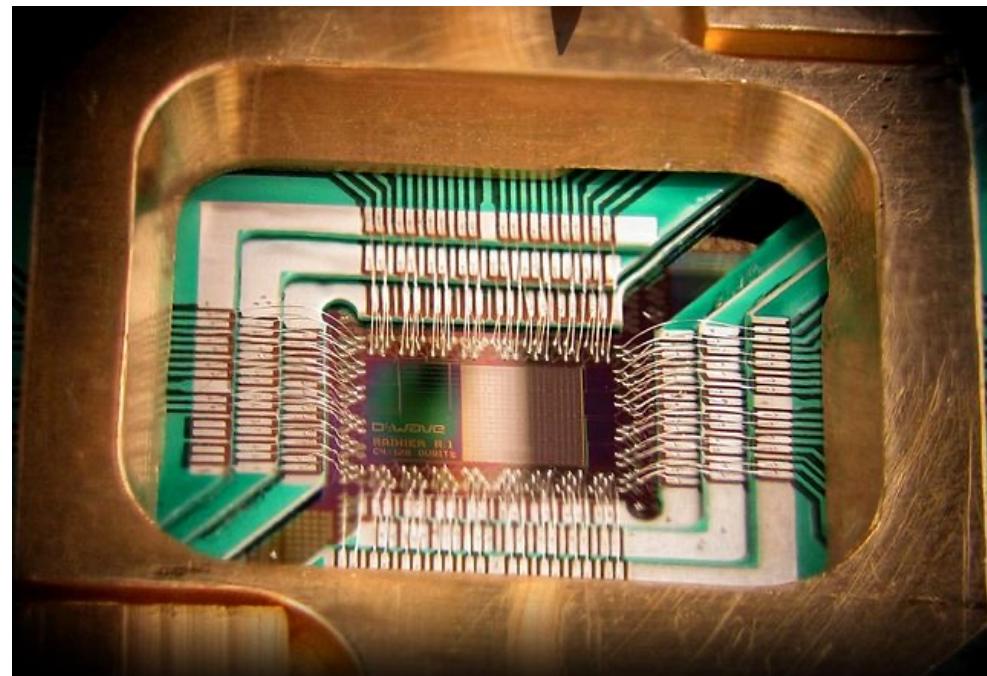
iPad

Kvantni računari

- 1959. Richard Feynman predavanje “*There's Plenty of Room at the Bottom*” – mogućnost kvantnog računarstva
- Danas u aktivan razvoj uključeni Google, IBM, Intel, D-Wave
- 2017. D-Wave prodaje kvantne računare sa 2000 kjubita (engl. *qubit*)



Richard Feynman
(1918-1988)



Kvantni računari

- **Kjubiti** (engl. *qubit*) se mogu nalaziti u **kvantnim stanjima** 0 i 1, kao i u superpoziciji ovih stanja. Rezultat merenja stanja kjubita je uvek 0 ili 1, ali verovatnoća rezultata zavisi od kvantnog stanja u kome se kjubit nalazio
- **Kvantna logička kola** (Hadamard, Pauli, Toffoli, ...)
- **Šorov algoritam za faktorizaciju**
- **Groverov algoritam traženja**
- Januara 2019. IBM predstavio **komercijalni kvantni računar** – IBM Q System One
- PhD Comics – Quantum Computers Animated:
<http://phdcomics.com/tv/?v=T2DXrs0OpHU>

