

Prof.dr. sc. *Slobodan Ribarić*, dipl. ing.
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i
inteligentne sustave (ZEMRIS)
Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER)
Sveučilišta u Zagrebu
E-mail: slobodan.ribaric@fer.hr
Tel. 01 6129 952

Arhitektura računalnih sustava

0. Uvodno predavanje
1. Definicija i klasifikacija arhitekture računala
2. Model von Neumannovog računala
3. Pojednostavnjeni modeli (mikro)procesora CISC i RISC
4. Performansa procesora / računalnog sustava
5. Zbirni jezik ili assembler (assembly language)
6. Upravljačka jedinica računala
7. Sklopovska i mikroprogramska izvedba upravljačka jedinica
8. Aritmetičko-logička jedinica
9. Memorijski sustav
10. Priručna memorija
11. Virtualna memorija

12. Sabirnice

13. Ulazno-izlazni podsustav

14. Protočnost

15. Višeprocorski sustavi, višejezgreni procesori i grafički procesori

Literatura

1. S. Ribarić, *Naprednije arhitekture mikroprocesora*, Element, Zagreb, 3.izdanje, 2004. (231 stranica)
2. S. Ribarić, *Arhitektura RISC i CISC računala*, Školska knjiga, Zagreb, 1996. (380 stranica)
3. A. S. Tanenbaum, *Structured Computer Organization*, Prentice-Hall, 1999. (669 stranica)
4. D. A. Patterson, J. L. Hennessy, *Computer Architecture, A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann Pub., fourth edition, 2007. (423 stranica + 210 stranica + CD)
5. D. A. Patterson, J. L. Hennessy, *Computer Organization & Design, The Hardware/Software Interface*, Morgan Kaufmann Pub., fourth edition, 2009. (703 stranica + 159 stranice + CD)
6. B. Parhami, *Computer Architecture, From Microprocessors to Supercomputers*, Oxford University Press, Oxford, 2005 (556 stranica)
7. S. Ribarić, *Grđa računala, Arhitektura i organizacija računala*, Algebra, Zagreb (u pripremi za tisak), 2011.

R.br.	Opis elemenata praćenja rada studenata	%	Bodovi	Prag	Bodova za potpis
1.	redovitost dolazaka na nastavu (% ili bodovi)	10,00%	10	6	6
1.1.	predavanja		0		
1.2.	seminari (predaja zadatka iz assemblera)	10,00%	10	1	1
1.3.	praktikumske vježbe		0		
2.	aktivnost na nastavi (% ili bodovi)		0		
2.1.	sudjelovanje u diskusijama		0		
2.2.	rješavanje zadataka		0		
2.3.	izrada posebnih projekata		0		
3.	domaće zadaće (% ili bodovi)		0		
4.	eseji/referati (% ili bodovi)		0		
5.	kratke provjere znanja (% ili bodovi)	10,00%	10		
6.	praktikumske vježbe (% ili bodovi)		0		
7.	kolokviji/provjera znanja tijekom semestra (uobičajeno 2 kolokvija) (% ili bodovi)	70,00%	80	40	
7.1.	jednokratno polaganje pojedinog kolokvija		0		
7.2.	mogućnost ponavljanja polaganja kolokvija kod negativne ocjene/nedovoljno bodova s kumuliranjem bodova		0		
8.	završni ispit (formalni upis ocjene, a stvarni samo za studente koji nisu skupili dovoljno bodova tijekom semestra za upis ocjene).		0		
	UKUPNO S. Ribarić, AIOR	100,00%	100		5

NEMA UVJETE ZA POTPIS

na polaganje završnog ispita

dovoljan (2)

dobar (3)

vrlo dobar (4)

izvrstan (5)

0,00% 49,00%

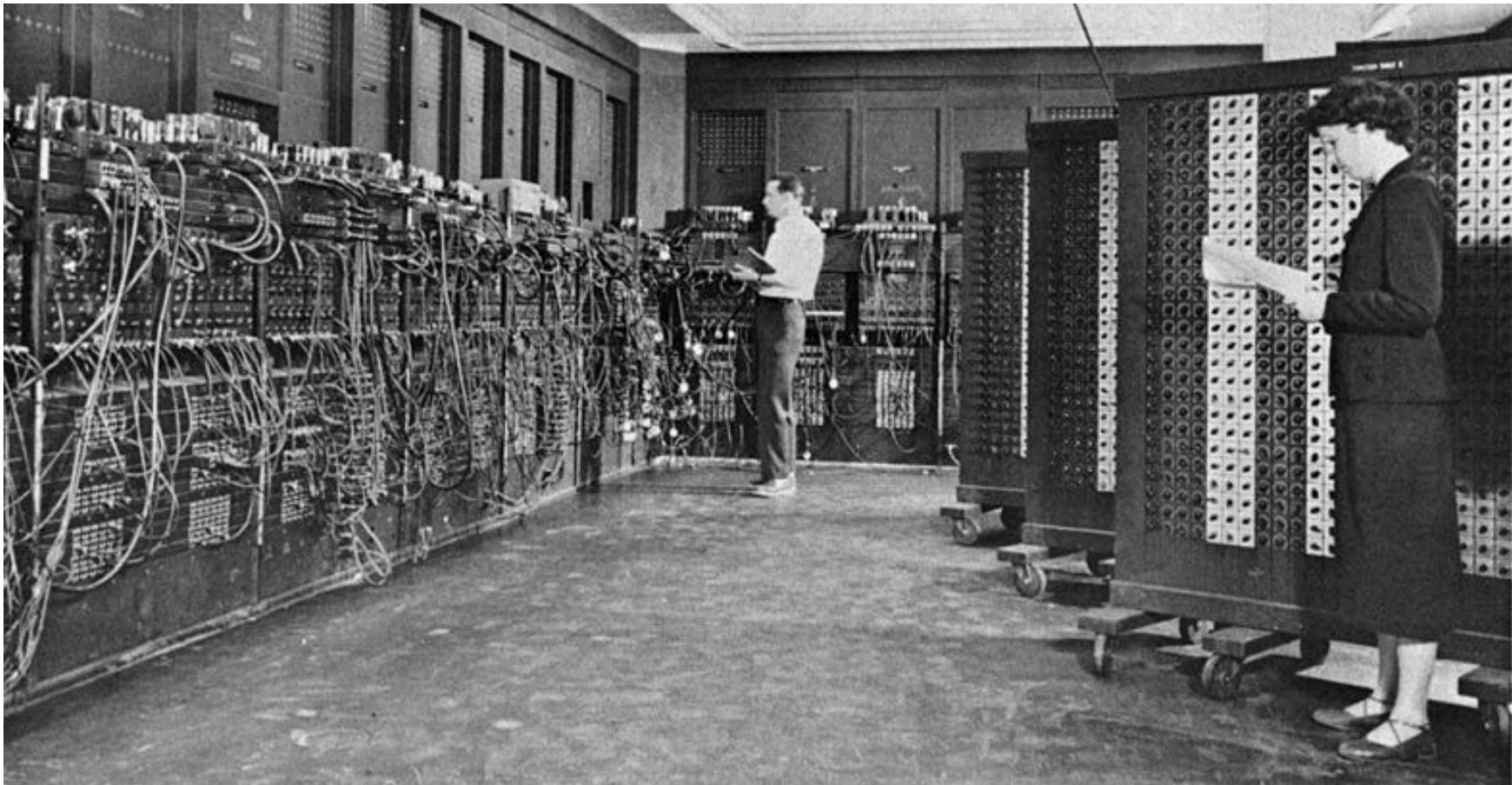
50,00% 64,00%

65,00% 80,00%

81,00% 90,00%

91,00% 100,00%

ENIAC – 1943 – 1946. godine



S. Klobučar, AIGK

1943. godine J. Mauchley i J. P. Eckert započeli s izgradnjom računala ENIAC

(**E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **A**nd **C**omputer). Ono je imalo oko 18.000 elektronskih cijevi i 1500 releja a težilo je oko 30 tona

Za žarenje elektronskih cijevi, anodne izvore i ventilatore za hlađenje bila mu je potrebna snaga od 140 kW!

Računalo je bilo završeno 1946. godine.

Mnogi smatraju da je povijest suvremenih računala započela upravo s ENIAC-om.

Generacije računala:

- *Nulta generacija - generacija mehaničkih strojeva za računanje(1644 - 1945)*
 - B. Pascal u razdoblju između 1642. i 1644. oblikovao stroj koji je mogao obavljati računske operacije zbrajanja i oduzimanja
 - G. W. Leibniz 1673. izradio mehanički računski stroj za zbrajanje, oduzimanje, množenje i dijeljenje (“mehanički kalkulator”)
 - C. Babbage je 1822. godine izgradio *diferencijski stroj* (engl. difference engine) koji se temeljio na računu konačnih diferencija
 - C. Babbage je 1834. godine započeo rad na *analitičkom stroju* (engl. analytical engine): 4 osnovne mat. operacije i korjenovanje (programirljiv stroj sa četiri funkcijske jedinice)
 - K. Zusea (1934.- 1936. godine) Z1 elektromehanički stroj za računanje

Nulta generacija računala(1644 - 1945) – nastavak

- H. Aiken je 1944. godine u Harvardu, USA, izgradio elektromehaničko računalo Mark I (72 dvije riječi od kojih je svaka bila predstavljena s 23 dekadne znamenke a instrukcije su se izvršavale za **6 sekundi**)

- *Prva generacija - elektronička računala sa elektronskim cijevima (1945 - 1955)*
 - računalo COLOSSUS koje se smatra prvim elektroničkim računalom (Engleska, 1943. godina) – namijenjeno dekriptiranju njemačkih poruka
 - J. Mauchley i J. P. Eckert započeli s izgradnjom računala ENIAC (**E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **A**nd **C**omputer) (1943. godine započet projekt)
 - M. Wilkes je na Sveučilištu u Cambridge 1949. godine izgradio računalo EDSAC koje se smatra prvim elektroničkim računalom s pohranjivanjem programa
 - J. von Neumann koji je inače sudjelovao u projektu ENIAC, došao je u Institut za napredna istraživanja (Institute of Advanced Studies) u Princeton, SAD, započeo projekt izgradnje računala IAS
Računalo IAS završeno je 1952. godine i svojim konceptima predstavlja osnovne temelje čak i današnjih računala.

*Prva generacija - elektronička računala sa elektronskim cijevima
(1945 - 1955) - nastavak*

- Na MIT-u su istodobno s IAS razvijali 16-bitno računalo Whirlwind I koje je prvo računalo za upravljanje u stvarnom vremenu (engl. real-time control) - **memorija s magnetskim jezgricama**
- Godine 1953. tada mala tvrtka IBM započinje s proizvodnjom računala IBM 701.

- *Druga generacija računala - tranzistor kao građevna komponenta (1955 - 1965)*

- Poluvodičku elektroničku komponentu **tranzistor** izumili su 1948. godine trojica istraživača J. Bardeen, W. Brattain i W. Shockley
- Prvo računalo izgrađeno na temelju tranzistora bilo je TX-0 (Transistorized eXperimental computer 0) (u MIT Lincoln Laboratory)
 - Godine 1960. tvrtka DEC (Digital Equipment Corporation) na tržište plasira prvo malo računalo (miniračunalo) PDP-1 čija je cijena bila oko 120 tisuća dolara
 - Godine 1965. DEC proizvodi 12-bitno miniračunalo PDP-8 čija je cijena bila samo 16 tisuća dolara
 - Tvrtka IBM je 1961. godine proizvela vrlo popularno malo poslovno računalo IBM 1401
 - IBM 7094 koje je jedno od vodećih računala za uporabu na znanstvenom području (engl. scientific computing)

• *Druga generacija računala - tranzistor kao građevna komponenta (1955 - 1965) – nastavak*

- Tvrtnka CDC (Control Data Corporation) je 1964. godine izgradila **prvo superračunalo za znanstvenu primjenu CDC 6600**

- *Treća generacija - integrirani sklopovi (1965 - 1980)*

Izum postupka kojim se deseci tranzistora mogu integrirati na **komadiću silicija i oblikovati u integrirani sklop ili čip**

(R. Noyce, 1958. godina)

- IBM System/360 Model 30, 40, 50 i 65, UNIVAC 1100 te DEC-ove PDP-11 i VAX 11 porodice računala
- Prvo se vektorsko superračunalo Cray I pojavilo na tržištu 1974. godine.
- U drugoj polovini godine 1971. pojavljuje se na tržištu prvi **4-bitni mikroprocesor Intel 4004** koji je bio predviđen kao kalkulatorski čip
- Prvi 8-bitni mikroprocesor opće namjene Intel 8008 pojavit će samo godinu dana kasnije (1972. godina)

Treća generacija - integrirani sklopovi (1965 - 1980) - nastavak

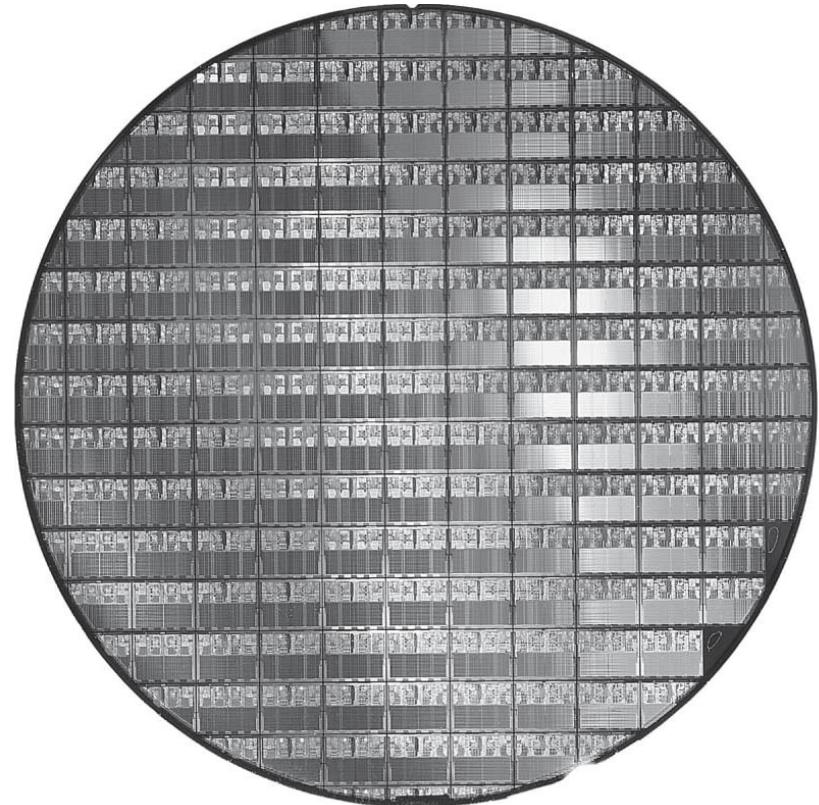
- Godine 1974. javlja se druga generacija 8-bitnih mikroprocesora čiji su tipični predstavnici Motorola 6800 i Intel 8080 te nagovještavaju **revoluciju na području računala**

- *Četvrta generacija računala - sklopovi vrlo visokog stupnja integracije (1980 - ?)*

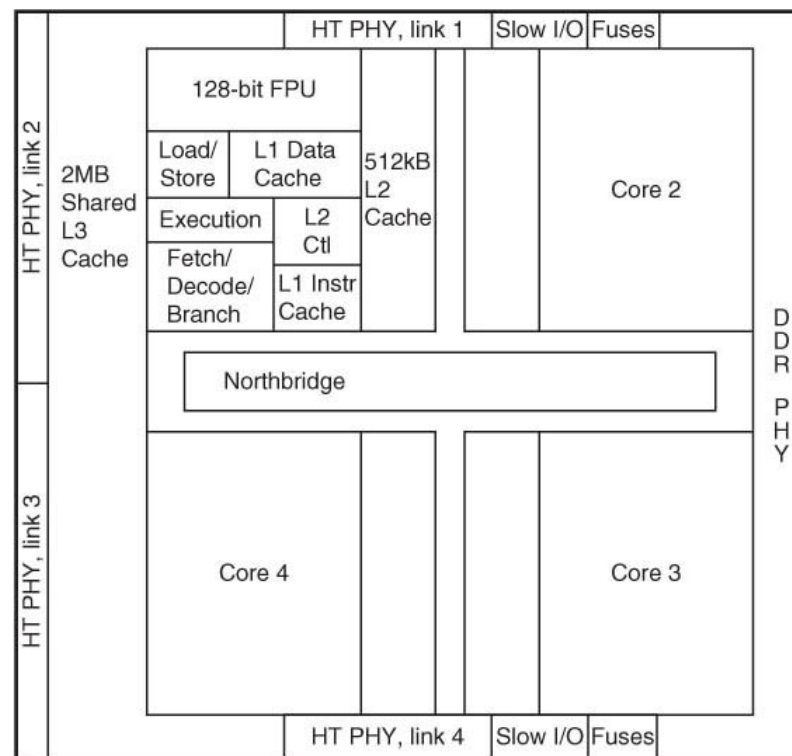
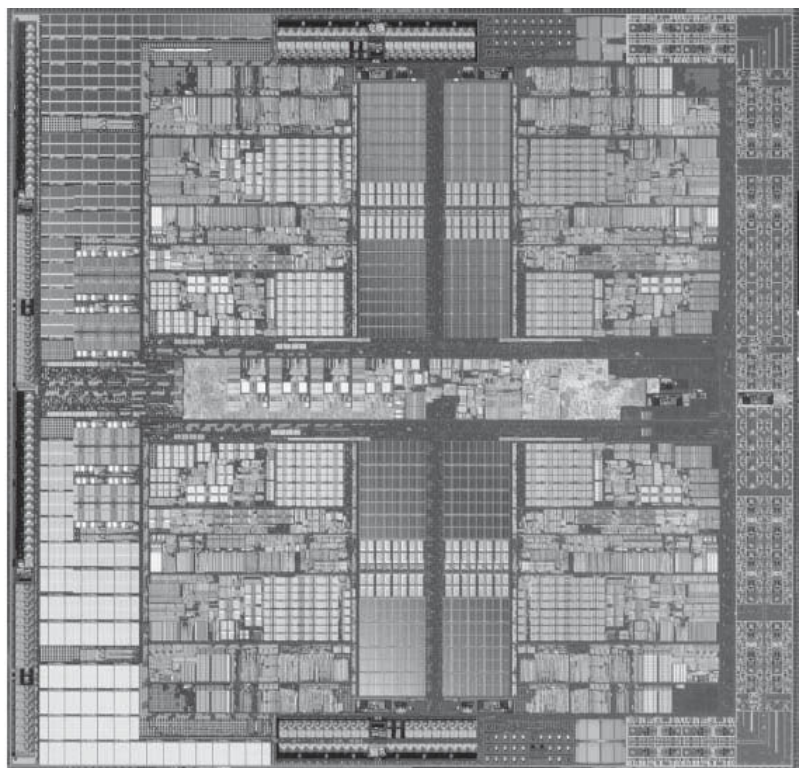
Zahvaljujući razvoju tehnologije vrlo visokog stupnja integracije VLSI (Very Large Scale Integration) koja omogućava realizaciju integriranih sklopova koji su početkom 80-tih godina imali desetke tisuća, pa onda stotine tisuća a **danās stotine milijuna ili milijardu tranzistora.**

Povećanje broja tranzistora integriranih na čipu opisuje Moorov zakon koji govori da se broj tranzistora na čipu udvostručuje svakih 18 - 24 mjeseca.

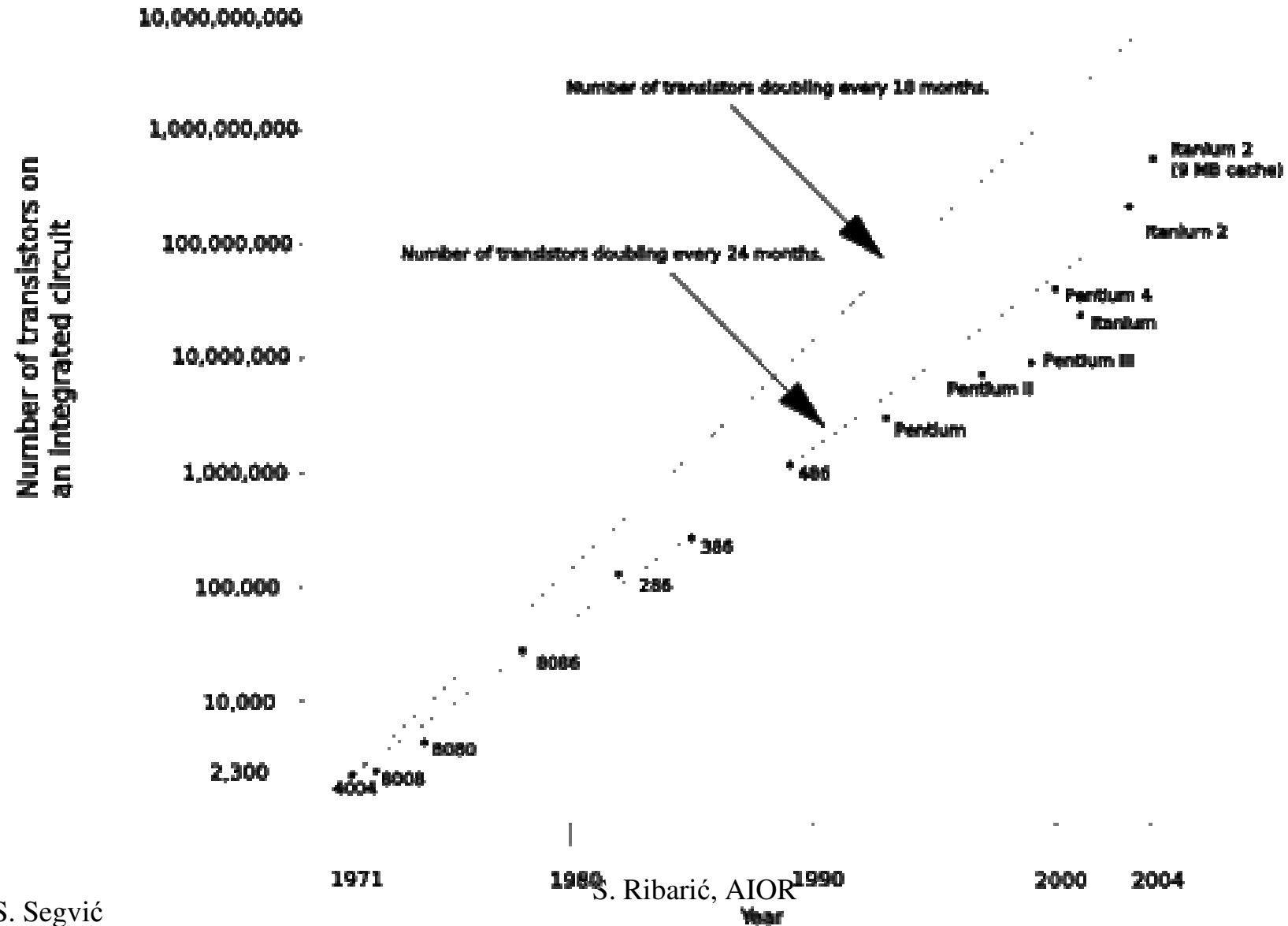
- silicijski wafer d=30cm
- površina jednog čipa ~200 mm²; ~ 235 M tranzistora; 110 W
- 117 procesora AMD Opteron X2 (90 nm tehnologija)
- u praksi se postiže prinos od oko 85%
- prinos utječe na cijenu i tako ograničava veličinu integriranog sklopa!



AMD Opteron Barcelona X4, fizički raspored (2x4 jezgre; (8 dretvi; 74 GFLOPs, 2.3 GHz))



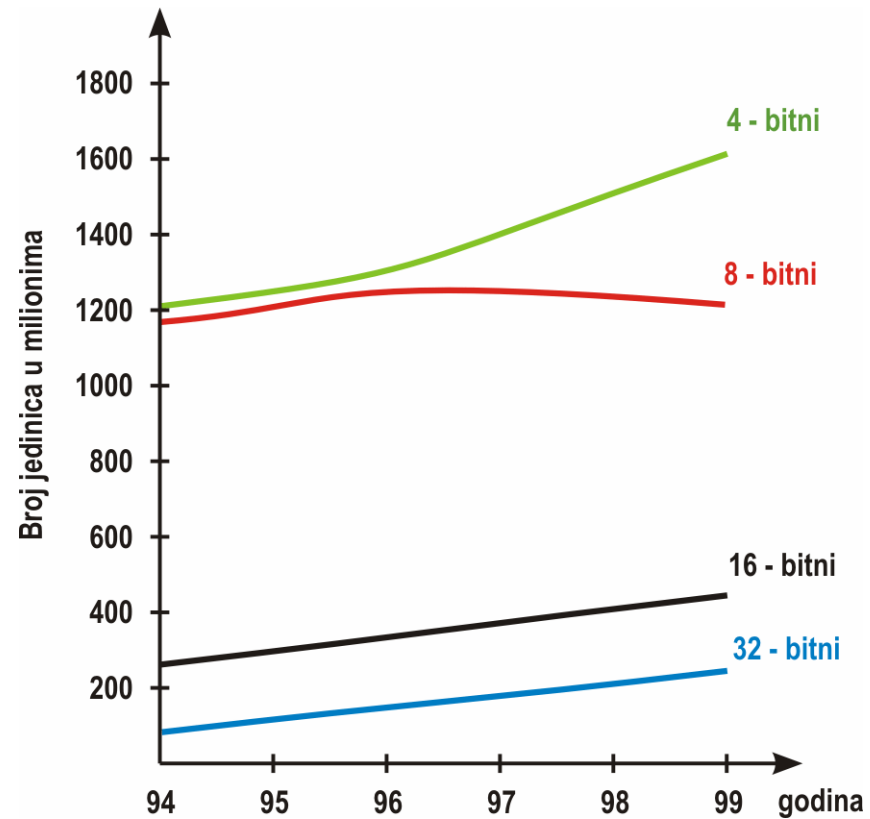
Moore's Law



- Četvrtu generaciju računala označila je industrija *osobnih računala*. IBM-ova osobna računala temeljena na Intelovom mikroprocesoru Intel 8088, koja su se pojavila na tržištu 1981. godine, postala su najprodavanija računala u povijesti.
- Pored tvrtke IBM, pojavili su se proizvođači osobnih računala kao što su Commodore, Apple, Amiga i Atari temeljili su dizajn na tzv. non-Intel CPU, tj. mikroprocesorima drugih proizvođača.
- 1998. godine bilo prodano 120 milijuna Intelovih procesora porodice 80x86, 74 milijuna Motorolnih procesora MC 68000, 54 milijuna procesora MIPS, 50 milijuna procesora ARM i 13 milijuna procesora PowerPC
- Godine 1980. javlja se i novi pristup arhitekturi računala, nazvan **RISC** (Reduced Instruction Set Computer) - za razliku od do tada tradicionalnog pristupa arhitekturi **CISC** (Complex Instruction Set Computer)

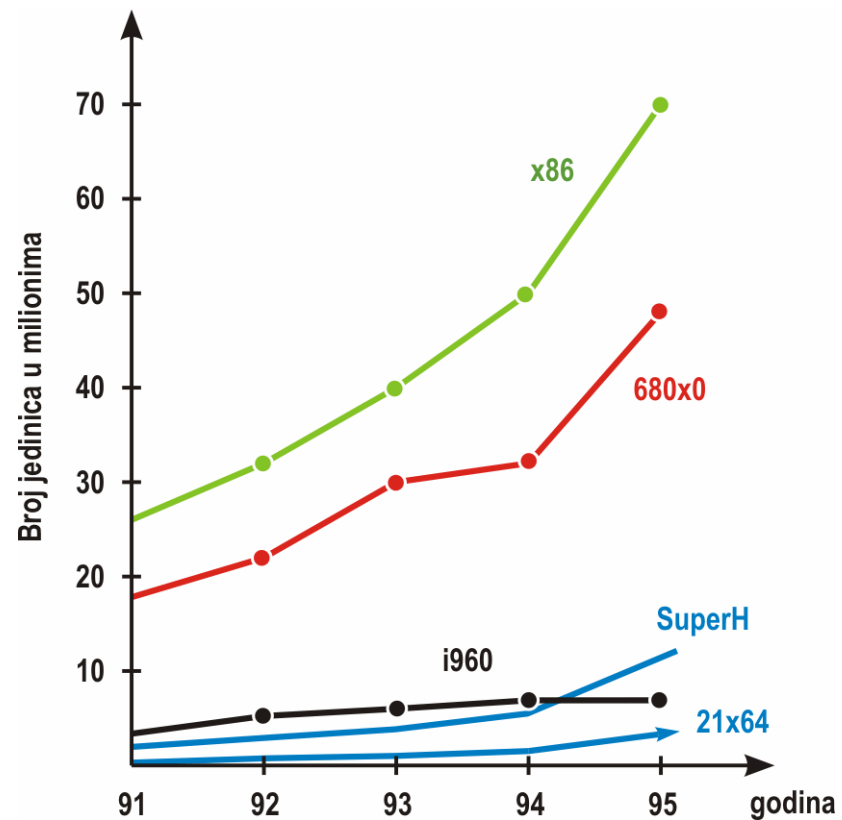
~ 1,5 milijarde 4-bitnih procesora (2000. god.)

~ 450 milijuna 16-bitnih mikroupravljača

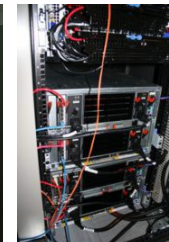
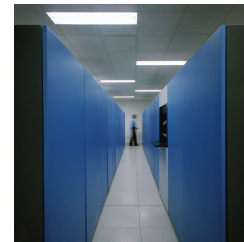
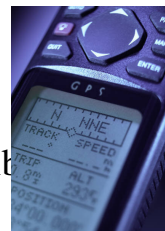
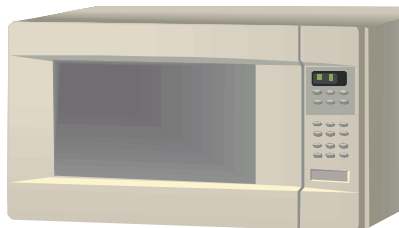


~ 75 milijuna Intelovih procesora x86
(1996. godina)

~ 50 milijuna Motorolinih procesora
680x0



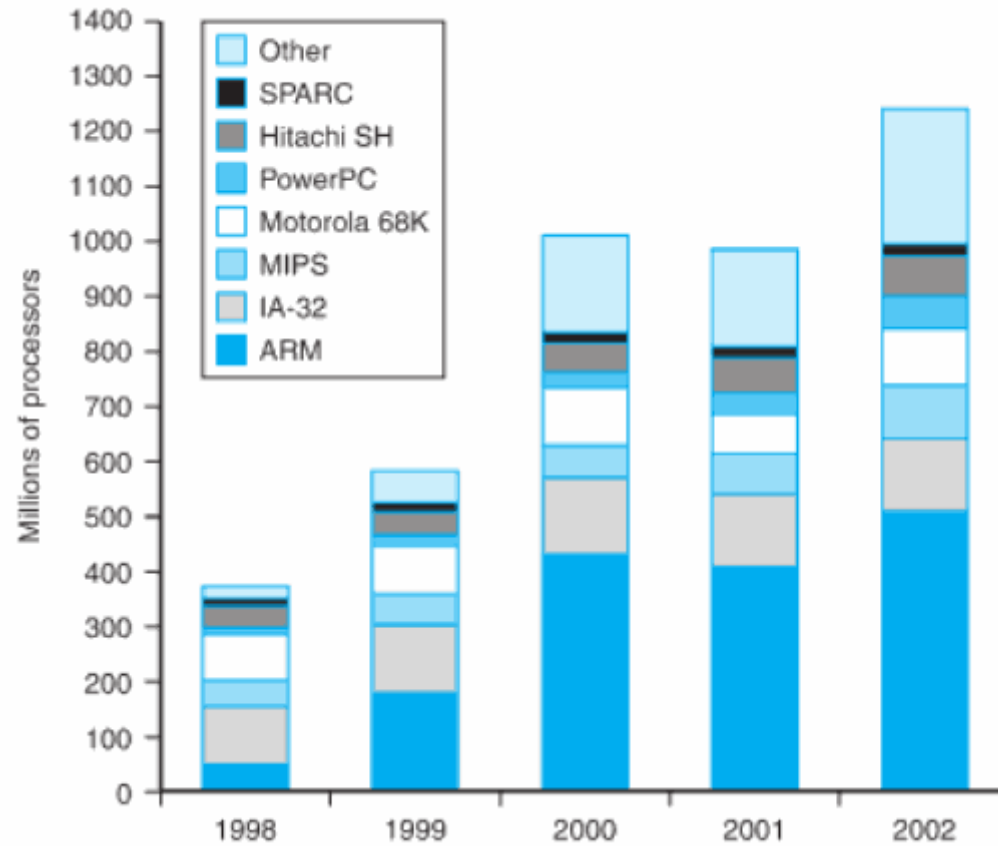
Gdje su procesori, računala, ugrađena računala, ...?



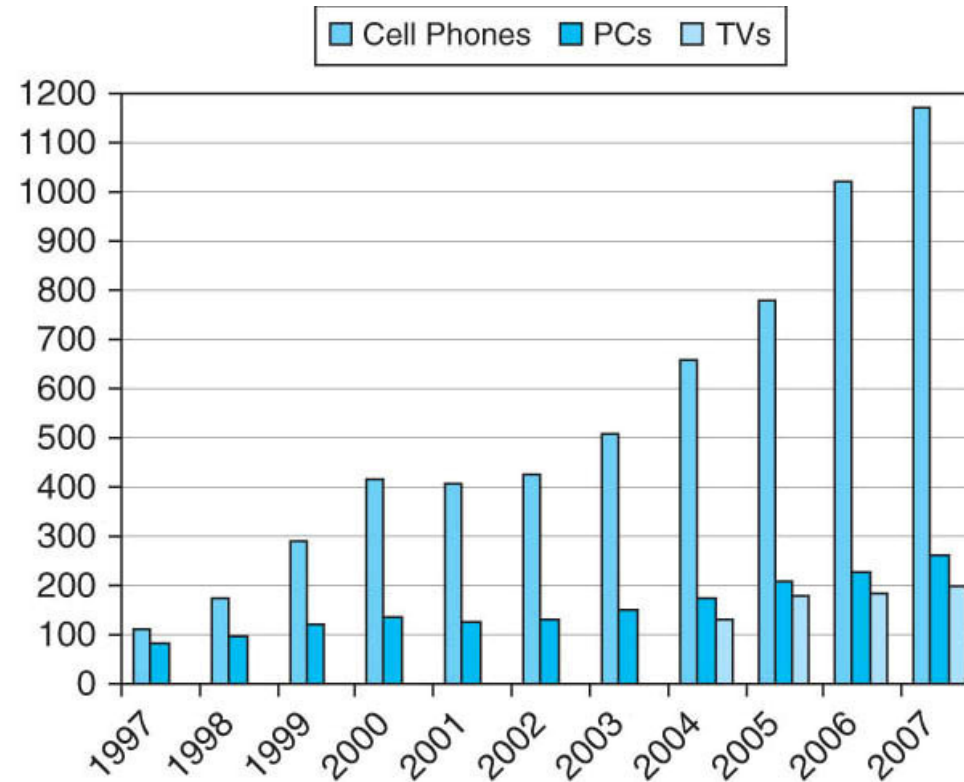
S.Segvić

rib R

Zastupljenost procesora



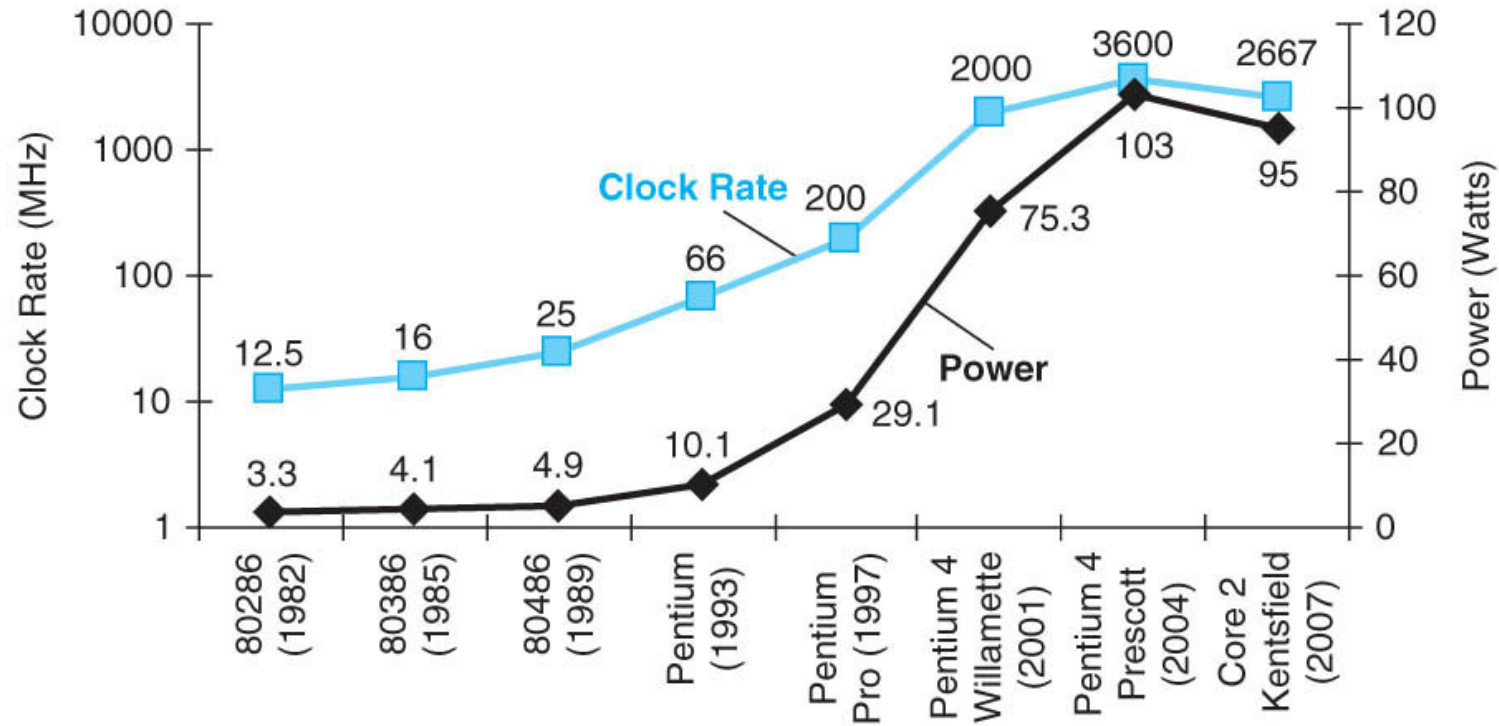
- Slika prikazuje milijune proizvedenih uređaja godišnje
- Stanje 2004 (svijet): oko 2e9 TV-a, 1.8e9 mobitela, 8e8 PCja



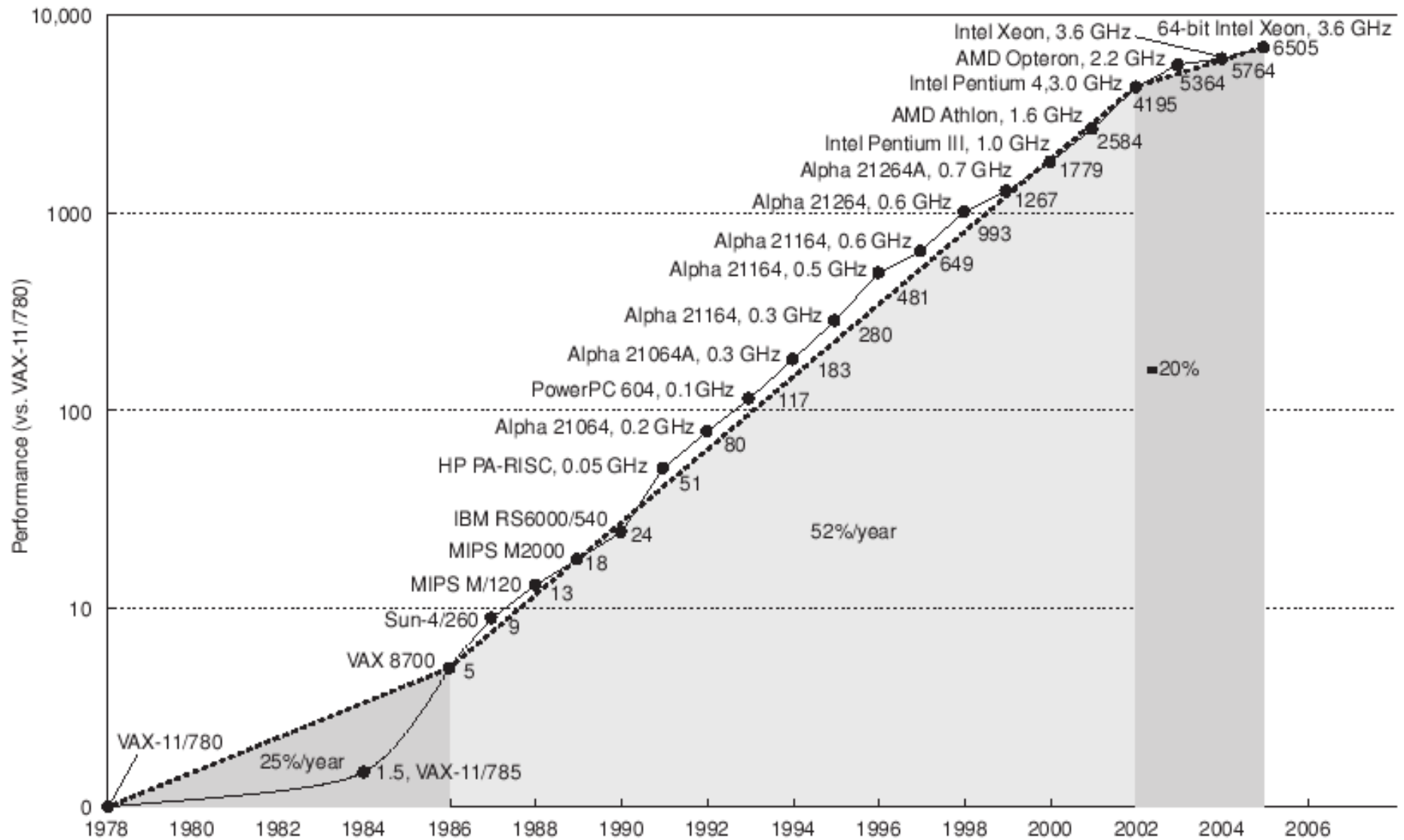
Zastupljenost elektroničkih uređaja

- Višeprocessorski sustavi na čipu, odnosno **višejezgreni procesori** (engl. multicore microprocessor),
- **Višedretveni procesori** (engl. multithread processor),
- Povećani kapacitet priručne memorije (engl. cache memory),
- Procesori za multimedijску primjenu temeljeni na VLIW (Very Long Instruction Word) konceptu
- Grafički procesori
- Višeprocessorski SIMD i vektorski procesori na čipu
- Simultani višedretveni procesori (engl. simultaneous multithreading; SMT)
- SMV - Simultaneous Multithreaded Vector – simultano višedretveni vektorski procesori.

Problem potroška (disipacije) procesora



Performansa procesora



[Pettersson, Henessy, 2009] S. Ribarić, AIOR

	1996. godina	2006.godina
Broj tranzistora (10 ⁶)	6	350
VLSI (μm)	0.35	0.1
MIPS	400	20000
ISPEC 95	10	500
Frekvencija (MHz)	200	4000

Mjere za performansu procesora i računarskih sustava

MIPS – Million Instructions Per Second

MOPS – Million Operations Per Second

MFLOPS – Million Floating Point Operations Per Second

Objektivna mjera za performansu: SPECmark

System Performance Evaluation Cooperative – udruga predstavnika proizvođača računalne opreme i sustava (Appolo Comp., MIPS Computer Systems, Sun Microsystems, Hewlett-Packard, IBM, DEC, Motorola...) osnovana 1989. god.

30 ispitnih programa – 10 osnovnih programa (GNU prevodilac za C, Espresso, SPICE, Li...)

SPECmark

*- srednja geometrijska vrijednost performansi za 10 ispitnih programa
i predstavlja relativnu performansu u odnosu na sustav VAX 11/780 (1989. god.).*

1 SPECmark → SPARC Station 10/40

1 SPECmark → 300MHz Sun Ultra 5-10 (2.listopada 2000. god.)
(SPEC CPU 2000)

Primjer:

Pretpostavimo da umjesto 10 ispitnih programa imamo samo tri ispitna programa A, B i C.

Ispitivanja su pokazala da su vremena izvršavanja tih triju programa na **referentnom računalu**: $t_R A = 60s$, $t_R B = 25s$ i $t_R C = 50s$.

Vremena izvršavanja na **ciljanom računalu** (onom kojem procjenjujemo performansu) su:

$t_c A = 45s$, $t_c B = 20s$ i $t_c C = 60s$.

Omjeri između vremena izvršavanja na referentnom računalu i vremena izvršavanja na ciljanom računalu su:

$o1 = t_R A / t_c A = 1,333$, $o2 = t_R B / t_c B = 1,250$ i

$o3 = t_R C / t_c C = 0.833$.

Integralna mjera za performansu ciljnog računala izražena geometrijskom srednjom vrijednosti je:

treći korijen iz $(1.333 \times 1.250 \times 0.833) = 1,115$

Na temelju dobivenog rezultata za ovaj pojednostavljeni primjer mogli bismo pretpostaviti da je **performansa ciljnog računala za faktor 1,115** veća negoli to performansa referentnog računala.

Isječak iz Intelove procesorske porodice

Procesor	Datum	Frekvencija (MHz)	Adresirajući prostor (bajt)
4004	4/1971	0,108	640
8008	4/1972	0,108	16 KB
8080	4/1974	2	64 KB
8086	6/1978	5-10	1 MB
8088	6/1979	5-8	1 MB
80286	2/1982	8-12	16 MB
80386	10/1985	16-33	4 GB
80486	4/1989	25-100	4 GB
Pentium	3/1993	60-233	4 GB
Pentium PRO	3/1995	150-200	4 GB

Predviđanja (izvor, A. Yu, 1996)

Značajke	Predviđanja godine 1989. za 1996.	Stvarno 1996. god.	Predviđanja godine 1996. za 2000.	Predviđanja godine 1996. za 2006.
Broj tranzistora (10^6)	8	6	40	350
VLSI tehnologija (μm)	0.35	0.35	0.2	0.1
MIPS	100	400	2400	20000
ISPEC	2,5	10	60	500
Clock speed (MHz)	150	200	900	4000

Procesori s 350 milijuna do 1 milijarde tranzistora, frekvencijom takta 4 GHz i performanse 20000 MIPS-a; **Zašto?**

-poboljšana sučelja čovjek – stroj (3D grafika, slike u pokretu, sinteza govora, raspoznavanje govora, raspoznavanje i interpretacija slika, procesori za multimedijske sustave)

1. Definicija i klasifikacija arhitekture računala

-izraz “*arhitektura računala*” uveden šezdesetih godina u IBM-u (ISA arhitektura)

P. H. Enslow, I. Flores: *Algoritmi koji se rabe u osnovnim funkcijskim jedinicama (ALU, U/I, upravljačka jedinica, memorija)*

E. C. Joseph: *Arhitektura funkcionalno usmjerena poput arhitekture u modernom građevinarstvu*

CILJEVI:

1. povećanje propusnosti (engl. throughput)
2. povećanje prilagodljivosti (engl. flexibility)
3. pouzdanost (engl. reliability)
4. raspoloživost (engl. availability)
5. **niža cijena sustava**

Tri sastavna područja arhitekture

- Sklopovska oprema (Hardware)
- Programska oprema (Software)
- Humanware

Hijerarhijski model arhitekture računala

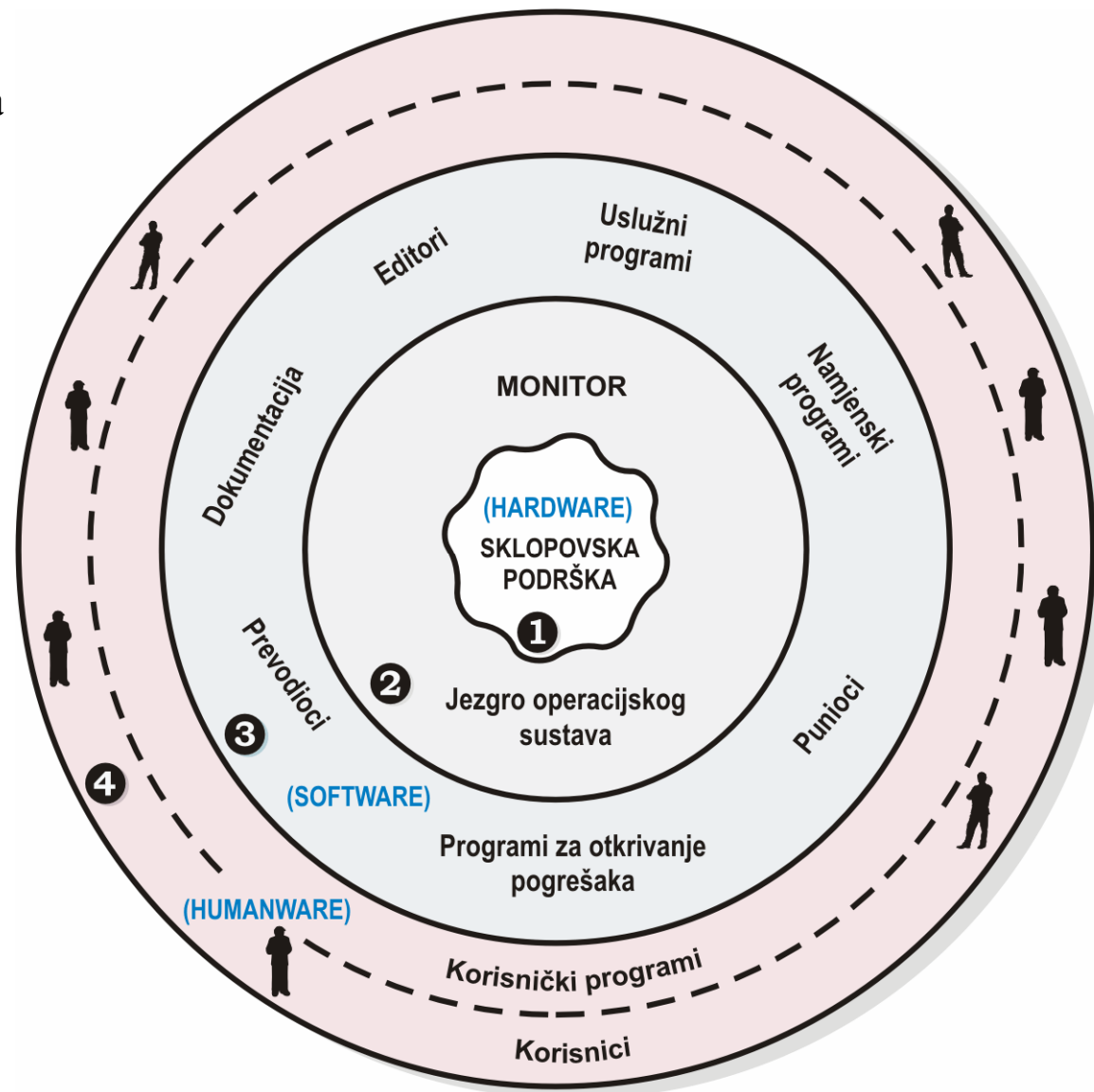
1

svi mehanički, magnetski, električki i elektronički sastavni dijelovi, naprave i uređaji

2

jezgro operacijskog sustava ili monitor:

- rukovodi i dodjeljuje resurse računala (vrijeme procesora, memorija, U-I jedinice, sistemski programi, datoteke) na temelju potreba korisničkih programa

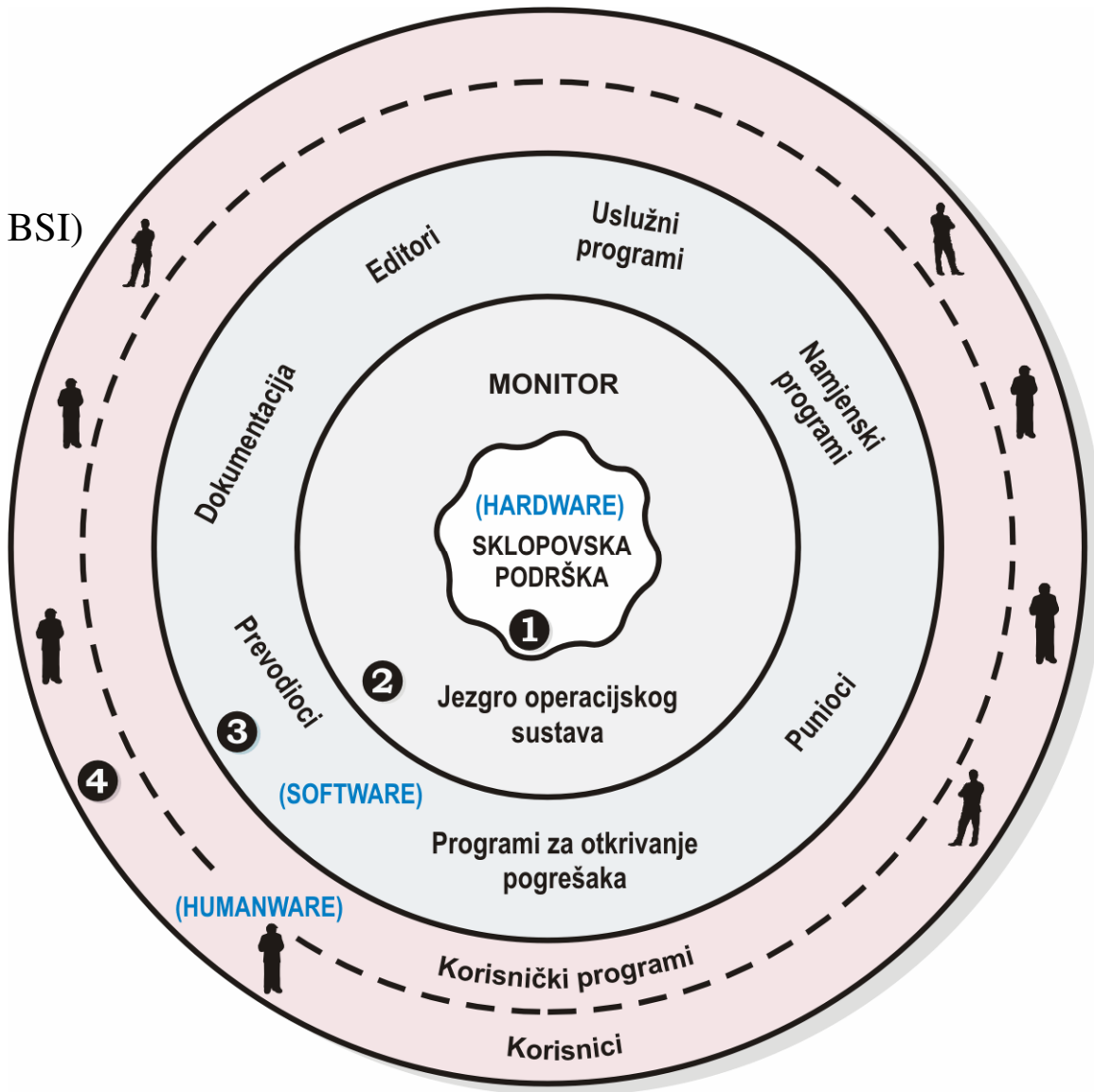


3

preostali dio operacijskog sustava:
prevodioci, editori, punioci,...
namjenski programi (SPICE, ECAP, BSI)

4

korisnički programi i korisnici –
humanware



Arhitektura računala je znanosti oblikovanja računala s ciljem ostvarivanja zahtjeva korisnika. To se postiže uporabom niza tehnika, postupaka i zahvata u svim hijerarhijskim razinama.

G. J. Myers, *Advances in Computer Architecture*, 1982.

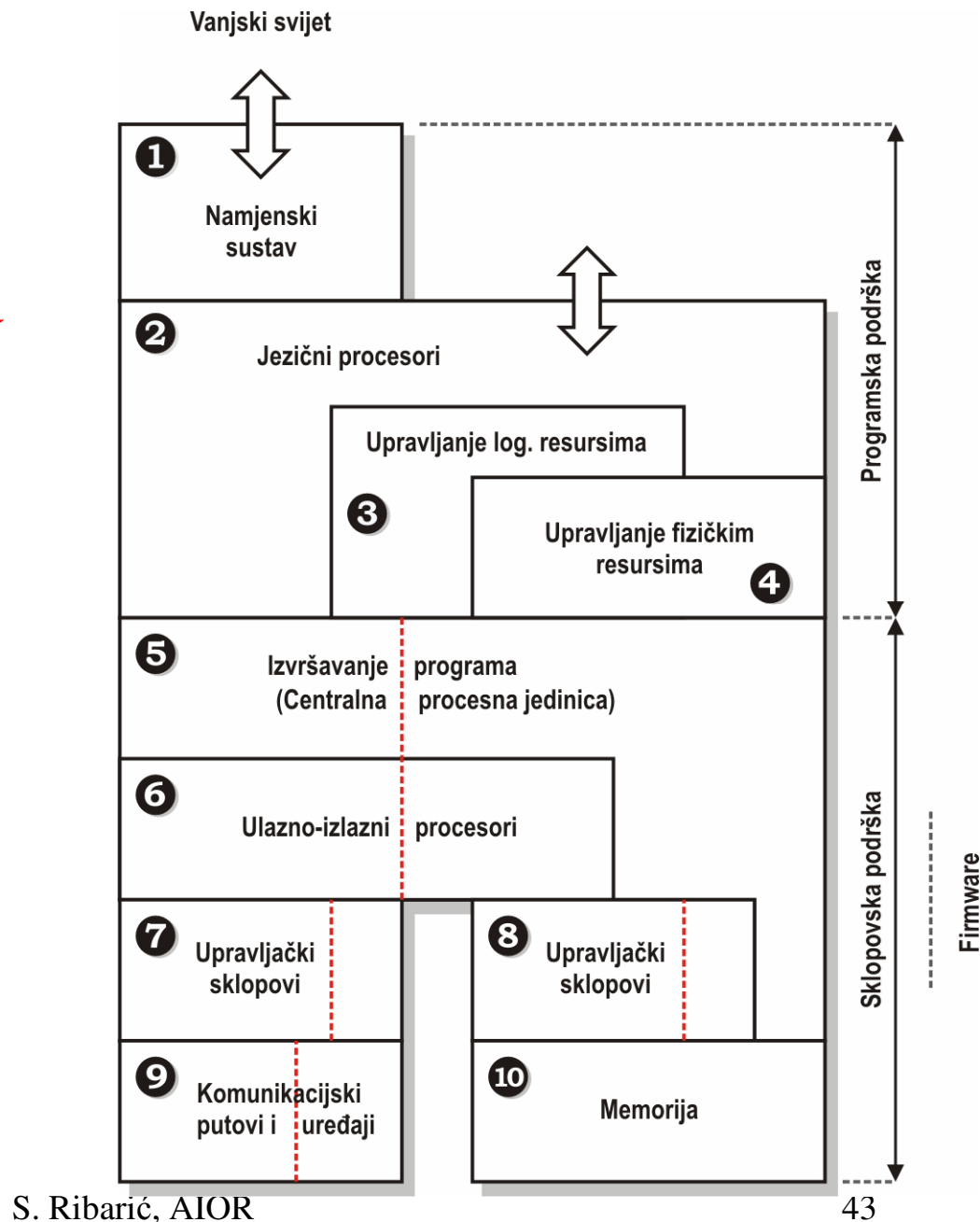
Arhitektura – raspodjela funkcija po zadanim razinama

1

programi za pretraživanje, sortiranje datoteka, uslužni programi SPICE, ECAP, BSI,...

2

programski jezici, jezici za rukovanje bazama podataka, upravljački jezici za komunikaciju – terminalski jezici

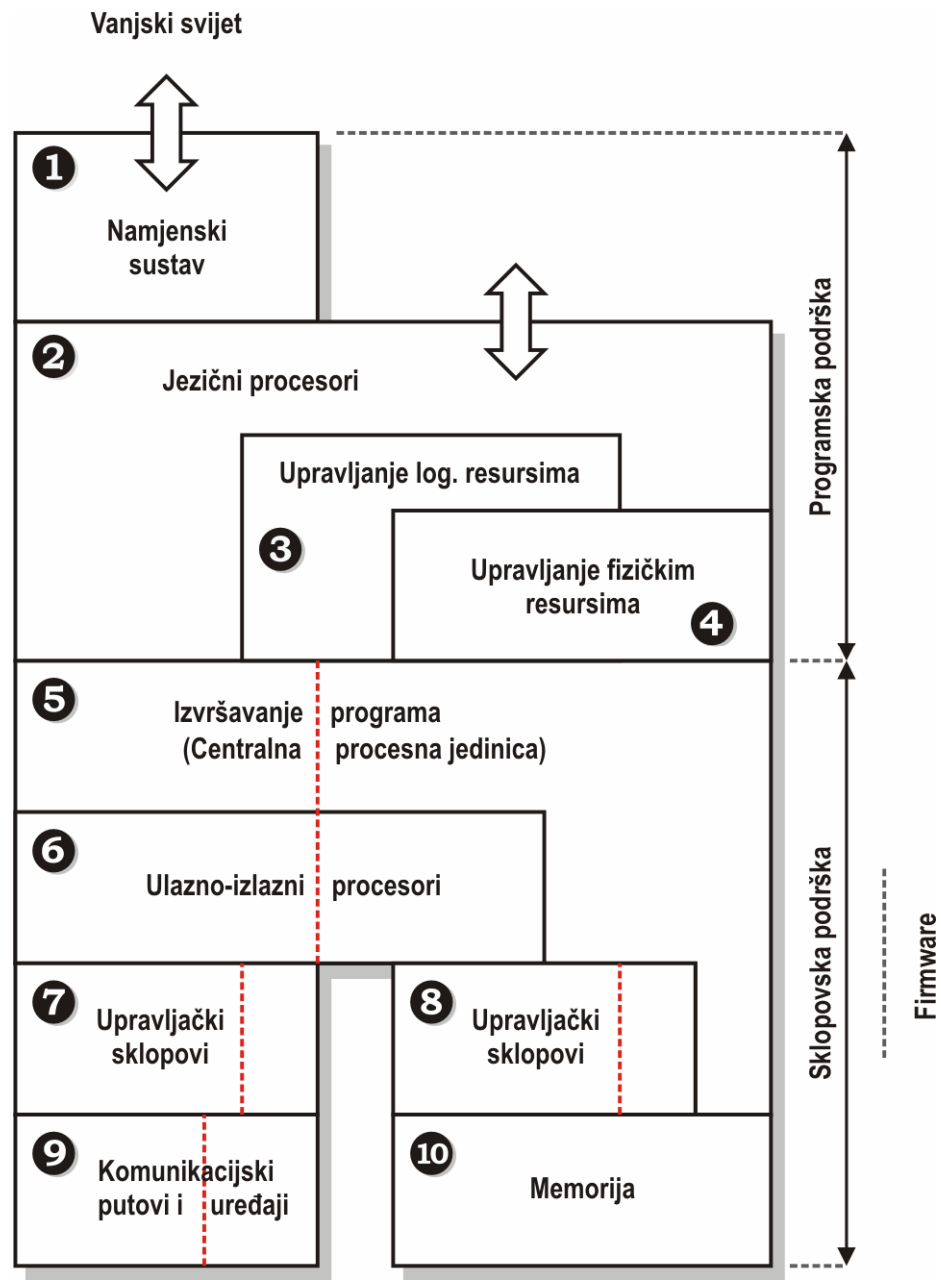


- 1 arhitektura računalnog sustava
- 2 3 4 arhitektura programske opreme

logički resursi – baze podataka, datoteke, virtualna memorija, postupci obrade u računalnim mrežama

fizički resursi – primarna i sekundarna memorija, vrijeme procesora, U-I uređaji

- 5 arhitektura procesora
- 6 7 arhitektura U-I jedinica
- 9 mreže računala i terminala



D. Tabak, George Mason University, 1987.

Arhitektura, organizacija i realizacija

Arhitektura – slika računalskog sustava kakvu je vidi programer u strojnom (zbirnom, assembleru) jeziku i /ili pisac prevodioca:

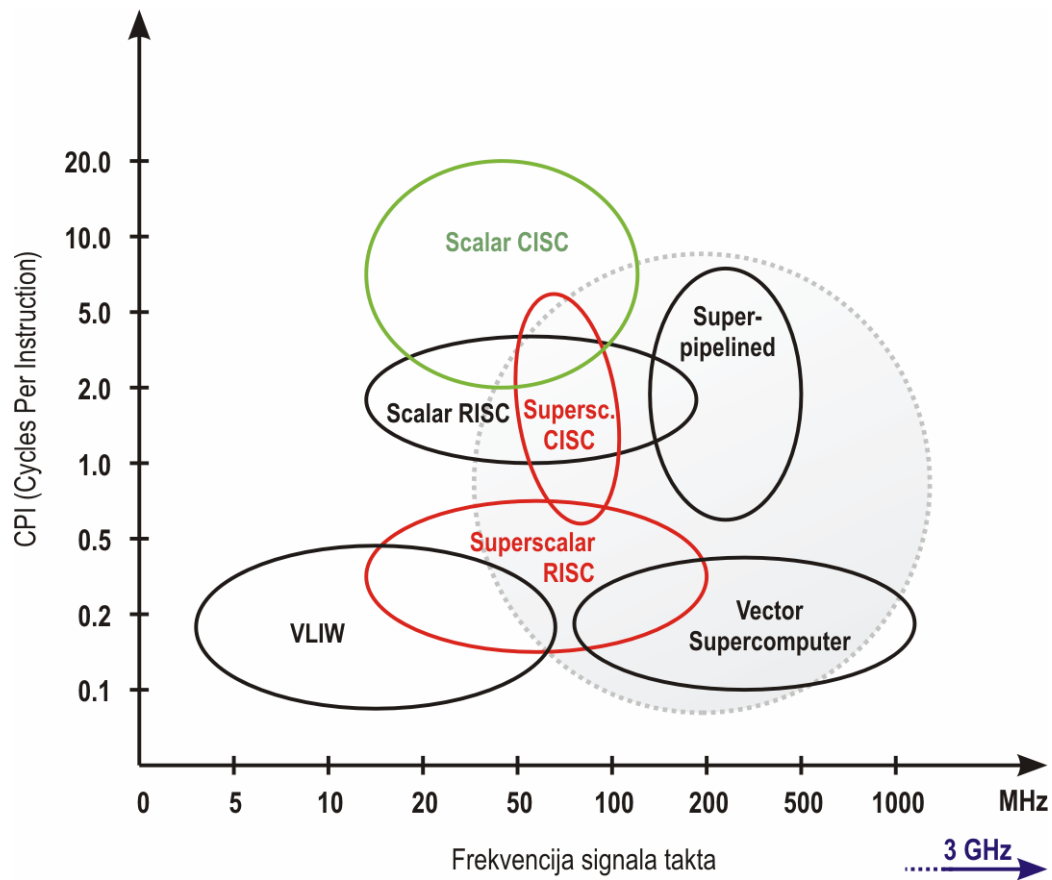
- skup registara CPU-a
- zastavice statusnog registra
- skup instrukcija
- tipovi i formati podataka

PRISTUP ARHITEKTURI: ISA – Instruction Set Architecture

Organizacija – detalji vezani za konfiguraciju sustava za međupovezivanje podsustava (ALU, upravljačka jedinica, U-I podsustav, sabirnički podsustav...)

Realizacija - detalji o sklopovskim strukturama i komponentama kao osnovi za izgradnju sustava (detalji o VLSI tehnologiji i materijalima)

Prostor oblikovanja suvremenih procesorskih porodica



(izvor: C. Hwang, 1993; modificirano 2003.)

- Skalarni CISC (Complex Instruction Set Computer)
- Skalarni RISC (Reduced Instruction Set Computer)
- Superskalarni RISC
- Superskalarni CISC
- Vektorski procesori
- VLIW – Very Long Instruction Words
- Superprotočna računala

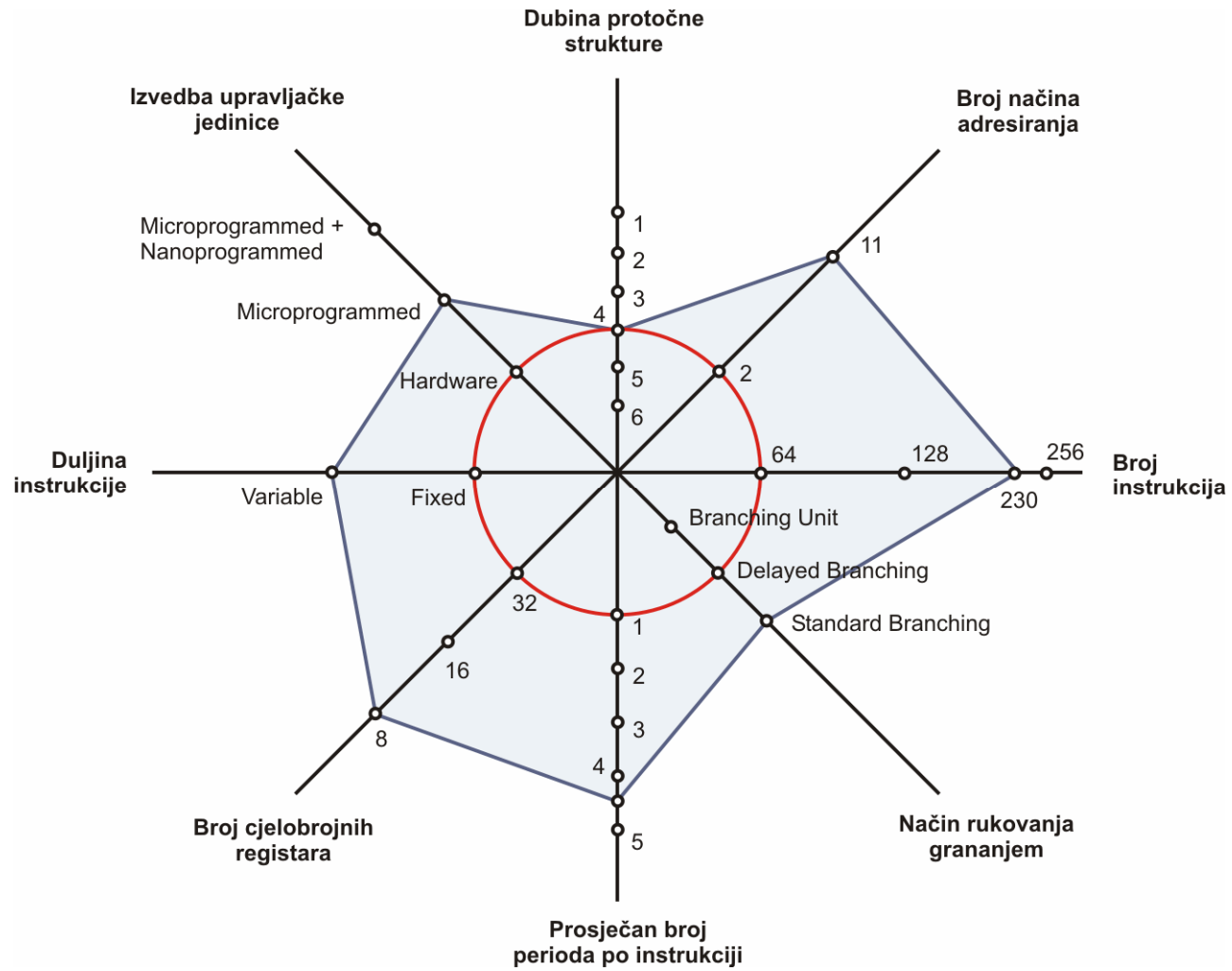
Skalarni CISC (Complex Instruction Set Computer)

Skalarni CISC barata skalarnim tipovima podataka (cjelobrojnim operandima i operandima s pomičnim zarezom)

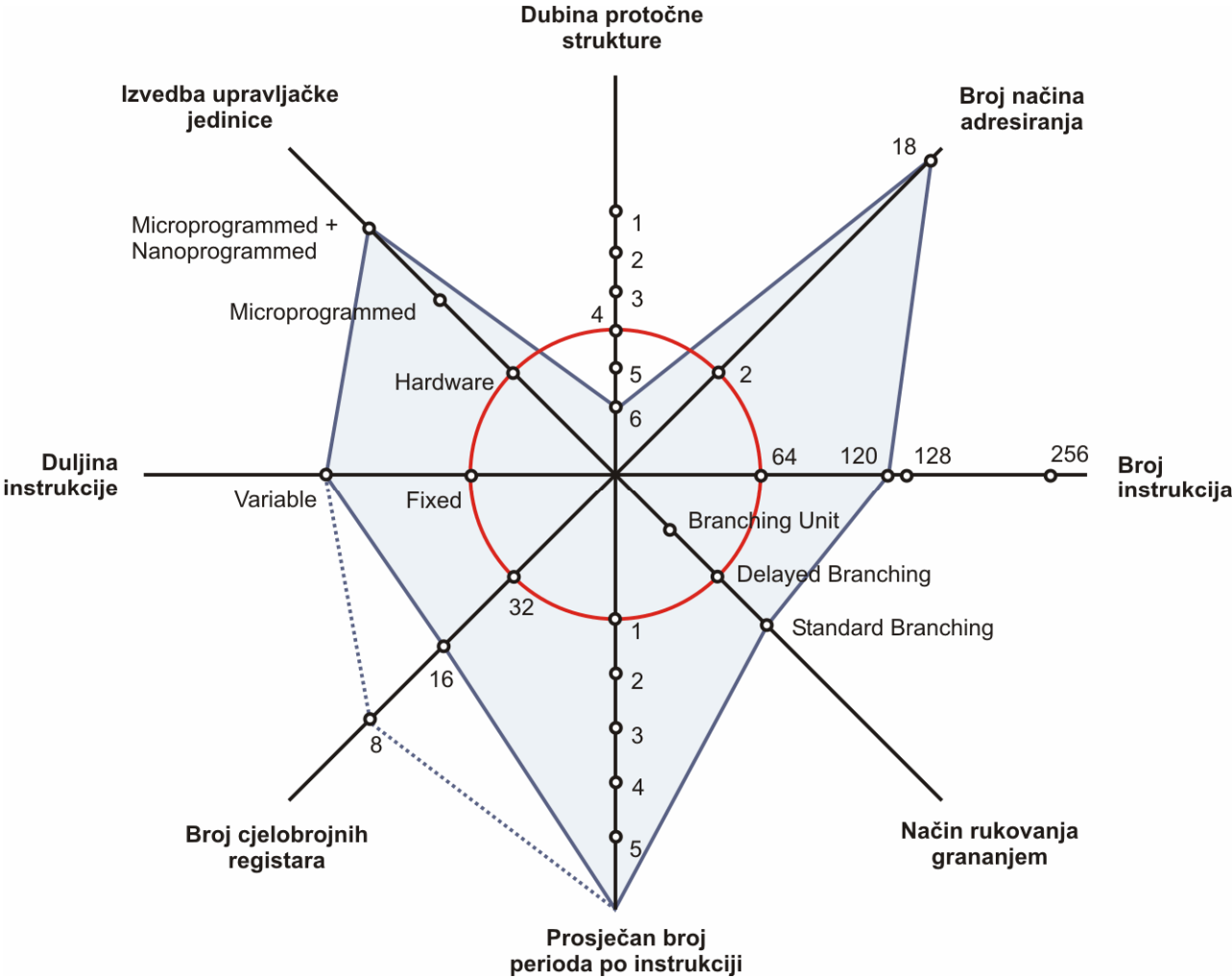
- vrlo veliki skup (strojnih) instrukcija;
- promjenjivi format instrukcija (16 – 64 i više bitova);
- brojni i raskošni načini adresiranja (od 12 do 24 i više);
- CPI (Cycles Per Instruction) – od dvije periode taktnog signala do nekoliko desetaka
- Tipična frekvencija taktnog signala od 60 do 250 i više MHz

Tipični predstavnici: MC 68020, MC 68040 (Motorola)
i486 (Intel)

i486



MC 68040



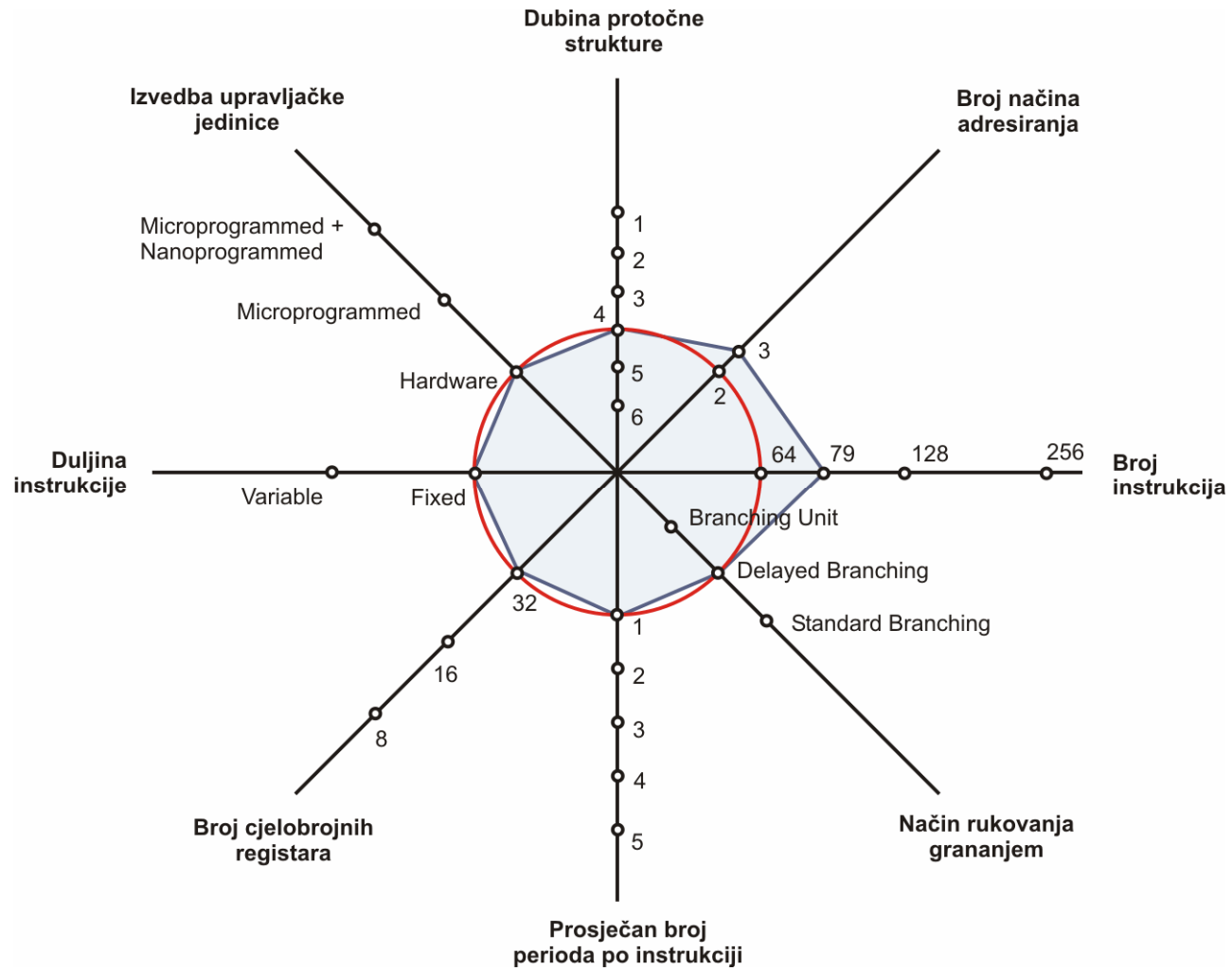
Skalarni RISC (Reduced Instruction Set Computer)

Skalarni RISC barata skalarnim tipovima podataka (cjelobrojnim operandima i operandima s pomičnim zarezom)

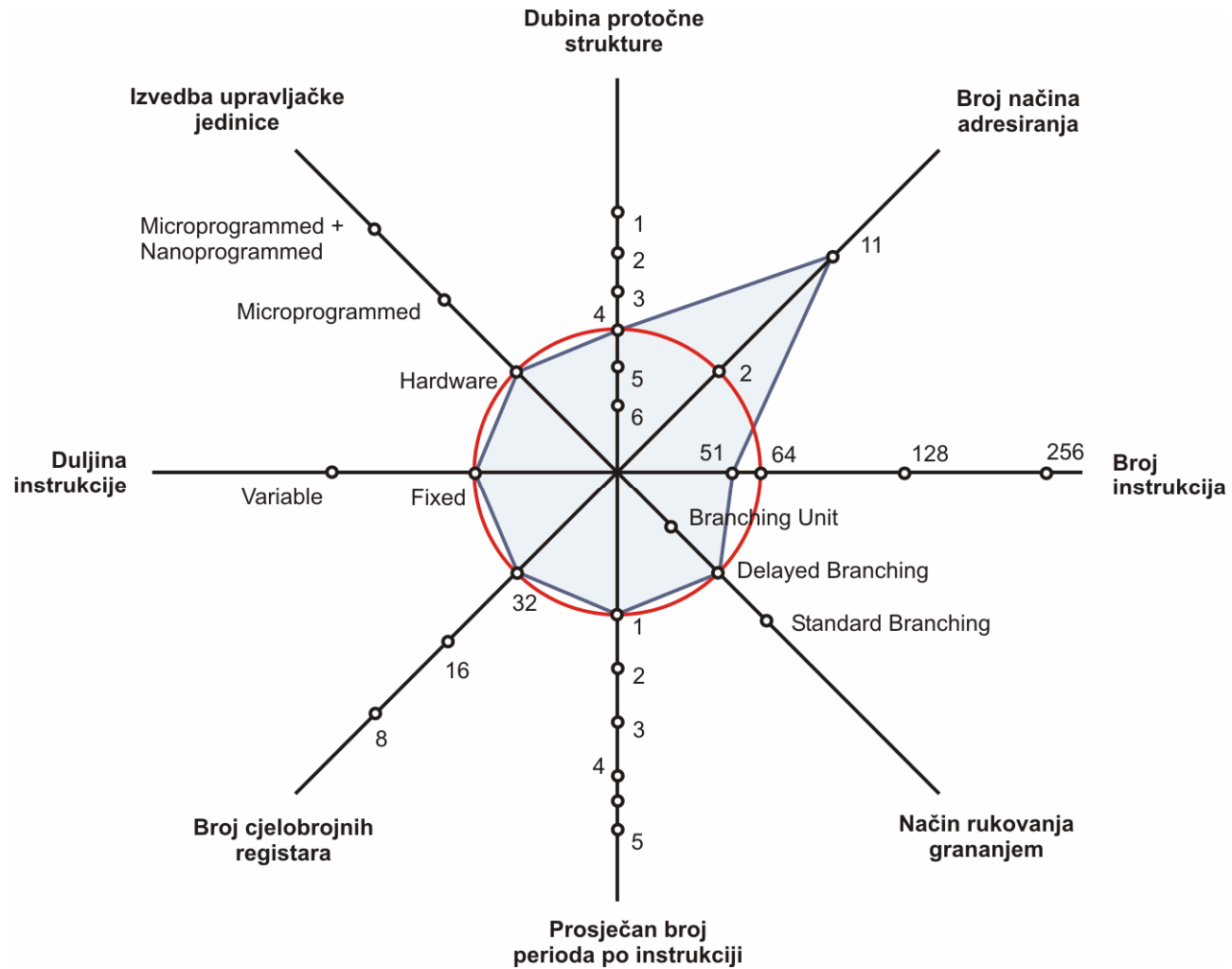
- mali skup (strojnih) instrukcija;
- instrukcije su čvrste duljine (npr. 32 bita);
- većina instrukcija su tipa registar-registar;
- *load/store* arhitektura;
- CPI – jedna perioda taktnog signala potrebna je za većinu instrukcija;
- tipične frekvencije taktnog signala od 200, preko 800 i više MHz;

Tipični predstavnici: i860 (Intel), MC 88100 (Motorola), SPARC CY 7C601 (Sun Microsystems)

i860



MC 88100

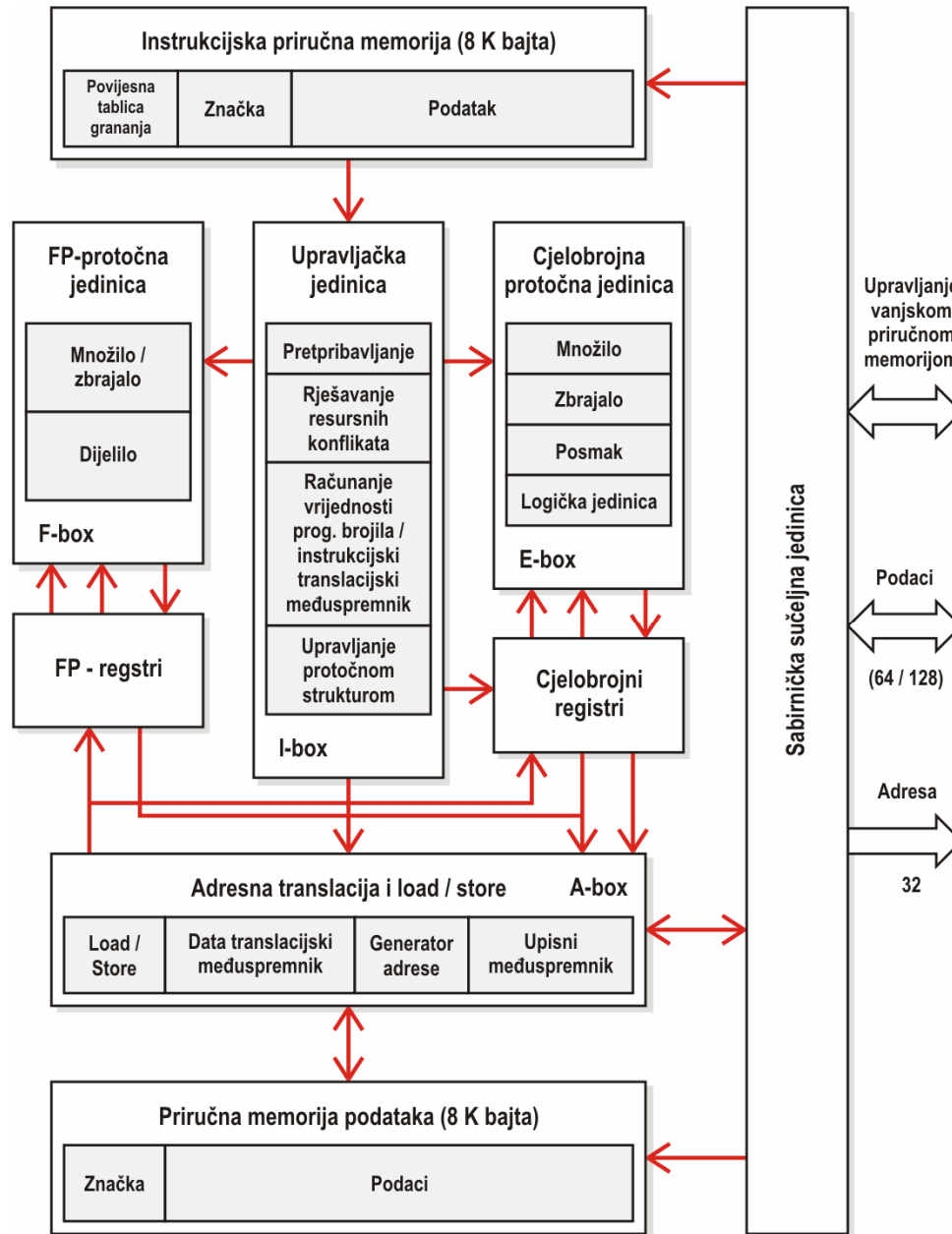


Superskalarni RISC

- izdaju i izvršavaju više od jedne instrukcije tijekom jedne periode taktnog signala

Tipični predstavnici: Alpha 21x64 (DEC, HP), i960 (Intel), Power PC 620 (IBM, Motorola, Apple), R10000 (tvrtka MIPS)

Alpha 21064



Superskalarni CISC

Procesori CISC koji koriste superskalarno RISC jezgro

- CISC instrukcije se pretvaraju tijekom dekodiranja u RISC i zatim se izvršavaju u RISC jezgri
- istodobno se mogu izvoditi od 1 do tri CISC instrukcije (u jednoj periodi taktnog signala)

Tipični predstavnici: K5 (Advanced Micro Devices), Pentium Pro (Intel), MC 68060 (Motorola)

Vektorski procesori

- barataju s više operanada – operandi su predočeni vektorima;
- vektorska se superračunala temelje na:
 - visokom stupnju paralelizma (na razini riječi, odnosno na razini operanada (npr. jedna operacija nad 64 operanda));
 - vektorizaciji (npr. uključivanjem vektorskih registara);
 - protočnosti;
 - visokoj razini paralelizma na nivou funkcijskih jedinica;

Tipični predstavnici: Cray (X-MP, Y-MP, C90), Convex C4/XA (Convex)

Pozor: Tehnologija VLSI dopušta izvedbu vektorskog procesora na čipu
Procesor podržava i višedretvenost SMV – **S**imultaneous **M**ultithreaded
Vector Processor

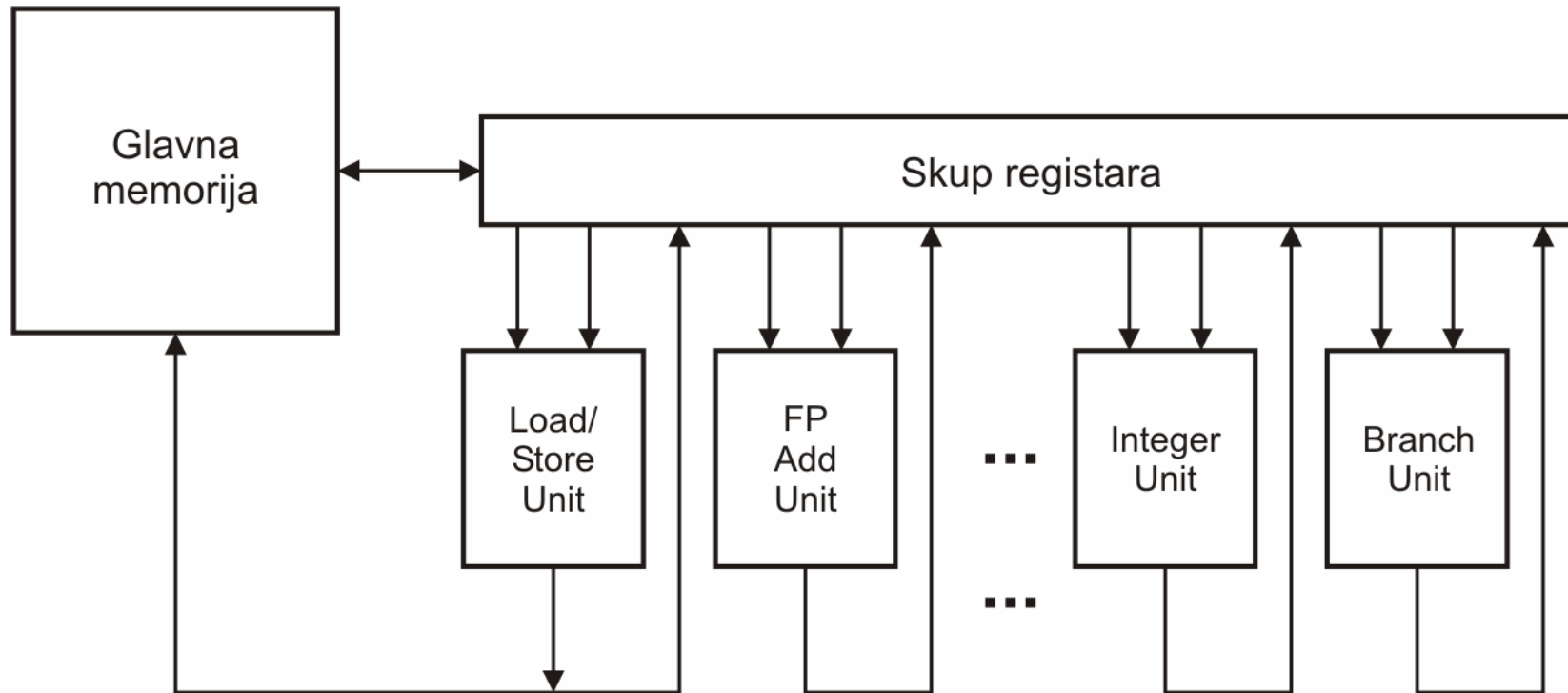
VLIW – Very Long Instruction Words (procesori s vrlo dugim riječima)

VLIW procesori koriste sljedeće koncepte:

- horizontalno mikroprogramiranje;
- superskalarnu obradu;
- višestrukost funkcijskih jedinica;

Predstavnici: Mpact (media processor) (Chromatic Research Inc.),
Trace 200 (Multiflow), FPS 120B (Floating Point Systems)

VLIW



Format instrukcije:



Superprotočna računala

- veliki broj potočnih segmenata (npr. > 7);
- vrijeme potrebno za obradu u jednom protočnom segmentu je $1/n$ osnovne periode taktnog signala ($n > 1$);
- kombinacija superprotočnosti i superskalarnosti;

Tipični predstavnici: Alpha 21x64, R 10000

Trendovi u arhitekturi:

- procesori s vrlo visokim stupnjem superskalarnosti (CPI < 1/10);
- frekvencija taktnog signala > 3 GHz;
- veliki broj registara;
- povećani kapacitet priručne (ili priručnih memorija) memorije;
- složeni algoritmi predviđanja grananja;
- višeprocesorski sustavi na jednom čipu – višejezgreni procesori
- višedretveni procesori (engl. Multithread Processors) - SMT;
- VLIW koncept;
- ILP (Instruction Level Parallelism);
- IRAM (Intelligent RAM) – MIMD i/ili SIMD na čipu
- Java procesori – stožna arhitektura procesora
- grafički procesori GPU – vrlo veliki broj procesora na čipu; npr. NVIDIA Tesla arhitektura

IA – 64 ITANIUM mikroprocesor

- prvi predstavnik 64-bitne Intelove porodice procesora (2001. godina)
- 0.18 mikrona VLSI
- 800 MHz; 45 SPECint95, 70SPECfp95
- koristi EPIC (Explicitly Parallel Instruction Computing)
- kombinira značajke superskalarnih procesora i VLIW procesora
- Struktura Itaniuma:
 - četiri cjelobrojne jedinice
 - četiri multimedijske obradbene jedinice
 - dvije s-p i dvije e-p jedinice s pomičnim zarezom
 - dvije loading/saving jedinice
 - tri jedinice grananja
 - L1 (data & inst. – svaka 16 MB), L2 (32 KB) i L3(4 MB) priručne memorije

ITANIUM 2

- 760 SPECint2000, 1350 SPECfp2000
- 221 milijuna tranzistora

K7 (kodni naziv Athlon) mikroprocesor (AMD)

- 1999. godine
- 0.25 mikrona/ 0.18 mikrona VLSI
- > 1GHz
- > 22 milijuna tranzistora
- SIMD instrukcijski skup (3DNow!)
- superskalarni, superprotočni, poboljšana predikcija grananja
- struktura K7:
 - tri cjelobrojne jedinice (IEU), tri adresne jedinice (AGU)
 - tri FPU i tri multimedijske jedinice

Athlon XP (Palomono core)- poboljšana verzija K7 procesora s jezgrom Thunderbird

Hammer – nova porodica AMD procesora

- 0.13 mikrona VLSI
- kompatibilan s procesorima x86 (ISA)

MAJC 52000 (SUN)

- dva 128-bitna VLIW procesorska jezgra
- četiri razine paralelizma:
 - multiprocesorska arhitektura
 - višedretvenost
 - paralelnost na razini VLIW instrukcija
 - SIMD obrada