

# Multiprocesorski sistemi

Uvod

Milo Tomašević

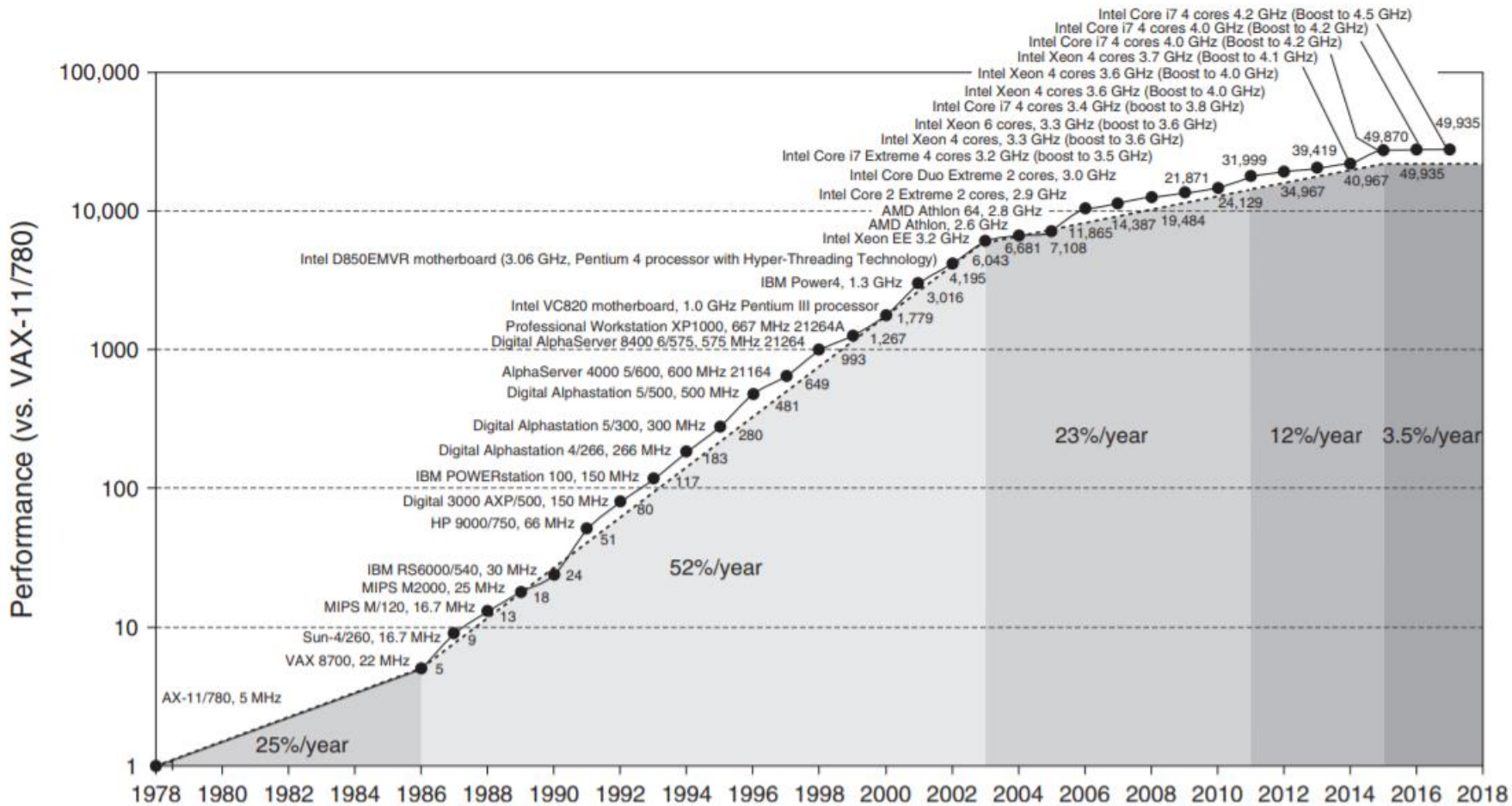
SI4MPS

# Računarski sistemi

---

- Ogroman napredak za 70-tak godina
  - Iste performanse 500\$ (danas) = 50M\$(1993)
  - Tehnologija (predvidljivo)
  - Arhitektura (manje predvidljivo)
- Posledice:
  - Ogromno povećanje procesne snage i mogućnosti
  - Poboljšanje C/P dovelo do novih klasa računara (PC, WSC, mob)
  - Dominacija sistema zasnovanih na mikroprocesorima
  - Razvoj HW platformi utiče na razvoj SW (kompromis između produktivnosti i performanse)
  - Sve intenzivnije multimedijalne aplikacije
- Ali ...

# Rast performansi



# Računarski sistemi

---

- Moore-ov zakon više ne važi
  - 1965, broj tranzistora se duplira svake godine
  - 1975, ... za svake dve godine
  - Danas, ... na svakih 20 godina
- Kombinacija uzroka:
  - Usporavanje Moore-ovog zakona i Dennard-ovog skaliranja
  - Nepromenjena snaga mikroprocesora
  - Zamena snažnih jednojezgarnih procesora sa višejezgarnim
  - Ograničenja Amdahl-ovog zakona
- Danas, dupliranje performansi na svakih 20 godina
- Pravac poboljšanja odnosa performanse cena
  - Domenski-specifične arhitekture

# Paralelno procesiranje

---

- Promena principa razvojne filozofije favorizuje paralelno procesiranje
  - Energija je jeftina, tranzistori su skupi => tranzistori su jeftini, energija je skupa (*power wall*)
  - FLOP je spora, L/S op je brza => FLOP je brza, L/S je spora (*memory wall*)
  - Prevodioci i arhitektura omogućavaju sve veći ILP => dobici od ILP sve manji (*ILP wall*)
  - Monolitni uniprocessori interno pouzdani, greške na pinovima => ispod 65 nm drugačije
  - Skaliranje uspešnog HW bloka => efekti dužine linija, preslušavanja, šuma, pouzdanosti, ...

# Paralelno procesiranje

---

- Promena principa razvojne filozofije favorizuje paralelno procesiranje
  - Performanse uniprocera x2 svakih 1.5g => usporenje trenda (možda čak na 5g)
  - Primarni dobitak od povećanja takta => primarni dobitak od povećanja paralelizma
  - *Power wall + memory wall + ILP wall !*

# Paralelno procesiranje

---

- Prošlost ... sadašnjost ... budućnost
- Veliki napredak – tehnologija i koncepti
- Paralelni računar je *skup* procesnih elemenata koji saraduju da bi *brzo* rešili *veliki* zadatak (A&G,89)
- Omogućava rešavanje velikih problema intenzivnim računskim i memorijskim zahtevima
- Namena:
  - Veća propusna moć (*throughput*) - više poslova istovremeno
  - Ubrzanje - paralelizacija aplikacije
  - Poboljšanje odnosa “*cost-effectiveness*” – manje ulaganja za bolje performanse
  - Veća pouzdanost

# Paralelno procesiranje

---

- Bitne karakteristike:
  - Alokacija resursa:
    - koliko procesora?
    - kakva je snaga procesora?
    - kako su povezani?
    - koliko memorije i kakva je hijerarhija?
  - Pristup podacima, komunikacija i sinhronizacija
    - kako elementi saraduju i komuniciraju?
    - gde se podaci nalaze i kako se prenose između procesora?
    - koje su apstrakcije i primitive za kooperaciju?
  - Performanse i skalabilnost
    - kakve su posledice na performanse?
    - kako sve to skalira?



# Paralelno procesiranje

---

## ○ Paralelizam:

- Kvalitativna alternativa za poboljšanje performansi
- Ima ga na svim nivoima projektovanja sistema (čak i u jednoprocorskim sistemima)
- Sve značajniji u obradi informacija
- Zavisnost od aplikacije i tehnologije

## ○ Glavne prepreke u SW:

- Ogromne dosadašnje investicije u sekvencijalne programe
- Nenaviknutost na paralelno programiranje
- Dva nivoa programera
  - Produktivnost (90%)
  - Efikasnost (10%)

# Paralelno procesiranje

---

- Istorija – različite i inovativne arhitekture i organizacije, često vezane za nove programske modele
- Brzo sazrevanje uz ograničenja tehnologije
  - Današnji i sutrašnji mikroprocesori su multiprocesori - CMPs
  - Laptop i super-računar koriste iste CPU!
  - Tehnološki trendovi utiču na konvergenciju različitih pristupa
- Trendovi tehnologije čine paralelno procesiranje nezaobilaznim
- Razumevanje osnovnih principa i projektnih kompromisa
  - Komunikacija, replikacija, sinhronizacija, balansiranje ...

# Klase računara

---

- Personalni mobilni uređaji (PMD)
  - pametni telefoni, tablet računari
  - WWW, multimedijalne aplikacije
  - cena, energetska efikasnost, realno vreme
- Desktop računari
  - ogromno tržište (više od pola - laptop)
  - obično se ovde javljaju najnoviji mikroprocesori
  - širok opseg aplikacija
  - odnos cena/performance (CPU/GPU)
- Serveri
  - računarski servis većeg obima i pouzdanosti
  - dostupnost, skalabilnost
  - propusni opseg (tpm)!

# Klase računara

---

- Klasteri/ WSC (*Warehouse Scale Computers*)
  - klasteri – skupovi više servera vezanih na LAN
  - vrlo veliki klasteri (desetine hiljada servera) - WSC
  - koriste se za interaktivni “*Software as a Service (SaaS)*” - pretraživanja, društvene mreže, igre, kupovina ...
  - dostupnost , potrošnja, odnos cena/performance
  - superračunari imaju isti red cene, ali računski zahtevne neinteraktivne velike aplikacije, pa bitne FLOP performance, brze interne mreže, itd.
- IoT/ugrađeni (*embedded*) računari
  - koriste se u uređajima široke upotrebe (često ‘pametnim’)
  - širok spektar performansi i cena, nekad ograničen HW i SW
  - vrlo bitna cena (postići zahtevane performance za datu cenu)

# Klase računara

Feature	Personal mobile device (PMD)	Desktop	Server	Clusters/warehouse-scale computer	Internet of things/embedded
Price of system	\$100–\$1000	\$300–\$2500	\$5000–\$10,000,000	\$100,000–\$200,000,000	\$10–\$100,000
Price of microprocessor	\$10–\$100	\$50–\$500	\$200–\$2000	\$50–\$250	\$0.01–\$100
Critical system design issues	Cost, energy, media performance, responsiveness	Price-performance, energy, graphics performance	Throughput, availability, scalability, energy	Price-performance, throughput, energy proportionality	Price, energy, application-specific performance

- Prodaja 2015.
  - 1.6 mlrd. PMD
  - 275 miliona PC
  - 15 miliona servera
  - 19 mlrd. EP

# Paralelizam

---

- Klase paralelizma u aplikacijama
  - Paralelizam na nivou podataka (DLP)
  - Paralelizam na nivou zadatka (TLP)
- Računari ove dve klase paralelizma koriste kao:
  - Paralelizam na nivou instrukcije (ILP)
    - Uz pomoć prevodioca i HW resursa
  - Vektorske arhitekture/GPUs
    - Koriste DLP na nivou iste instrukcije
  - Paralelizam na nivou niti (TLP)
    - DLP ili TLP u interaktivnim nitima
  - Paralelizam na nivou zahteva (RLP)
    - Nezavisni zadaci specificirani od programera ili OS

# Paralelno procesiranje

---

- Zahtevi aplikacije – neprestane i rastuće potrebe za procesnom snagom računara
- Trendovi tehnologije
- Trendovi arhitekture
- Ekonomičnost, performanse, skalabilnost, ...

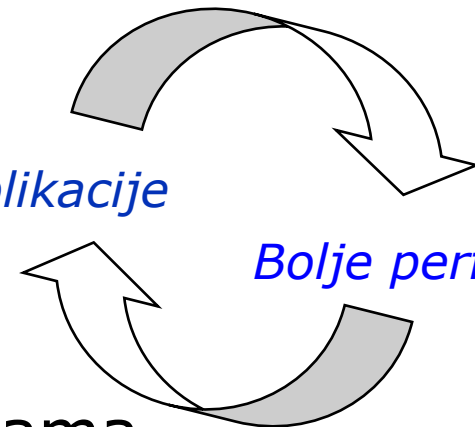
# Trendovi aplikacije

---

- Zahtevi aplikacija za performansama podstiču unapređenja u HW, što omogućava nove aplikacije, ...
  - Posledica - eksponencijalno povećanje performansi mikroprocesora
  - Jak uticaj na paralelne arhitekture
    - najzahtevnije aplikacije

*Nove aplikacije*

*Bolje performanse*



- Opseg zahteva za performansama
  - "piramida" platformi sa progresivnim porastom cene i performansi



# Performanse

---

- Tipična metrika:
  - Vreme odgovora (*response time*)
  - Propusni opseg (*throughput*)
- Ubrzanje (*speedup*)
- Vreme izvršavanja
  - "Zidno" vreme: uključuje sve sistemske *overhead*-e
  - CPU vreme: samo vreme izračunavanja
- Benčmark aplikacije
  - Kerneli iz realnih aplikacija (npr., množenje matrica)
  - Mali programi (npr., algoritam za sortiranje)
  - Sintetički benčmarci (npr., Dhrystone)
  - Skupovi benčmark aplikacija (npr., SPEC06fp, TPC-C)

# Ubrzanje

---

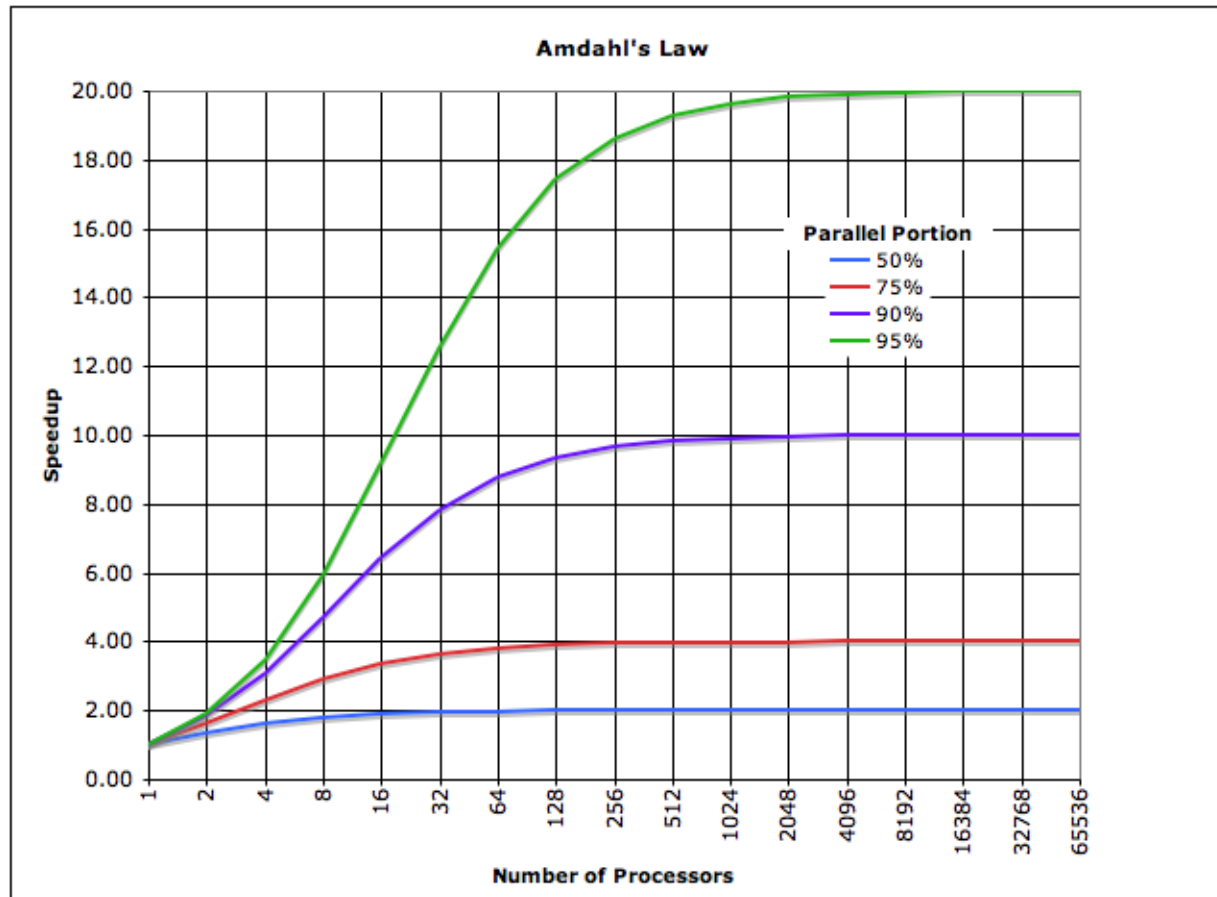
- Ubrzanje (p procesora) = 
$$\frac{\text{Performanse (p procesora)}}{\text{Performanse (1 procesor)}}$$
- Za problem fiksne veličine (ulazni podaci),  
performanse = 1/vreme
- Ubrzanje (p procesora) = 
$$\frac{\text{Vreme (1 procesor)}}{\text{Vreme(p procesora)}}$$
- Koliko je ubrzanje moguće ?

# Amdahl-ov zakon

---

- $\alpha$  - sekvencijalni deo aplikacije
- $T_p = \alpha T_1 + (1 - \alpha) T_1 / p$
- $S_p = p / (1 + (p - 1)\alpha)$
- Za  $p \rightarrow \infty$   $S_p \rightarrow 1/\alpha$
- Efikasnost =  $S_p / p$
  
- Ubrzanje ograničeno sekvencijalnim delom aplikacije nezavisno od broja procesora
- Superlinearno ubrzanje  $S_p > p$ ?
  - Mnogo više operativne i keš memorije
  - Restrukturisanje algoritma pogodna za paralelizaciju

# Amdahl-ov zakon



# Amdahl-ov zakon

---

- Ovaj zakon daje gornju granicu ubrzanja
- Ubrzanje ograničavaju:
  - Cena kreiranja paralelnih delova
  - Cena komunikacije deljenih podataka
  - Cena sinhronizacije
  - Cena redundantnih izračunavanja
  - Nebalansirano opterećenje  
(nedovoljan paralelizam, nejednake veličine paralelnih delova, ...)
- Potrebna krupna granularnost paralelizma  
(ali ne previše!)
- Ako je max ubrzanje  $S_p$ ,  
obično  $S_p$  procesora radi sa 50% efikasnosti

# Skalabilnost

---

- Koliko efikasno aplikacija može da iskoristi povećanje nivoa paralelizma u sistemu?
  - Čvrsto skaliranje (*strong scaling*)
  - Labavo skaliranje (*weak scaling*)
- Čvrsto skaliranje
  - Ukupna veličina problema fiksna dok broj PE raste
  - Tipično za računski intenzivne programe
  - Pretpostavka *Amdahl-ovog* zakona
  - Ne odgovara uvek načinu korišćenja paralelnih računara
- Labavo skaliranje
  - Veličina problema po jednom PE fiksna, ukupna raste
  - Tipično za memorijski intenzivne programe
  - Pretpostavka *Gustafson-ovog* zakona

# Gustafson-ov zakon

---

- Pretpostavka da paralelni deo aplikacije raste sa brojem procesora
  - npr., numeričke i grafičke aplikacije, prognoza vremena, itd.
- $T_p = \alpha T + (1 - \alpha) T$
- $T_1 = \alpha T + (1 - \alpha)pT$
- $S_p = T_1/T_p = \alpha + (1 - \alpha)p$
- $S_p = p - (p - 1)\alpha$
- Implikacije
  - Odnosi se samo na skalabilne aplikacije
  - I dalje treba smanjivati sekvencijalni deo!

# Naučne aplikacije

---

- Zahtevaju ogromnu procesorsku snagu i ogroman memorijski prostor:
  - Nuklearna fizika
  - Kvantna dinamika
  - Dinamika fluida
  - Klimatski modeli i vremenska prognoza
  - Okeanske struje
  - Seizmologija
  - Molekularna biologija
  - Analiza genoma
  - Superprovodnici
  - Robotika
  - ...

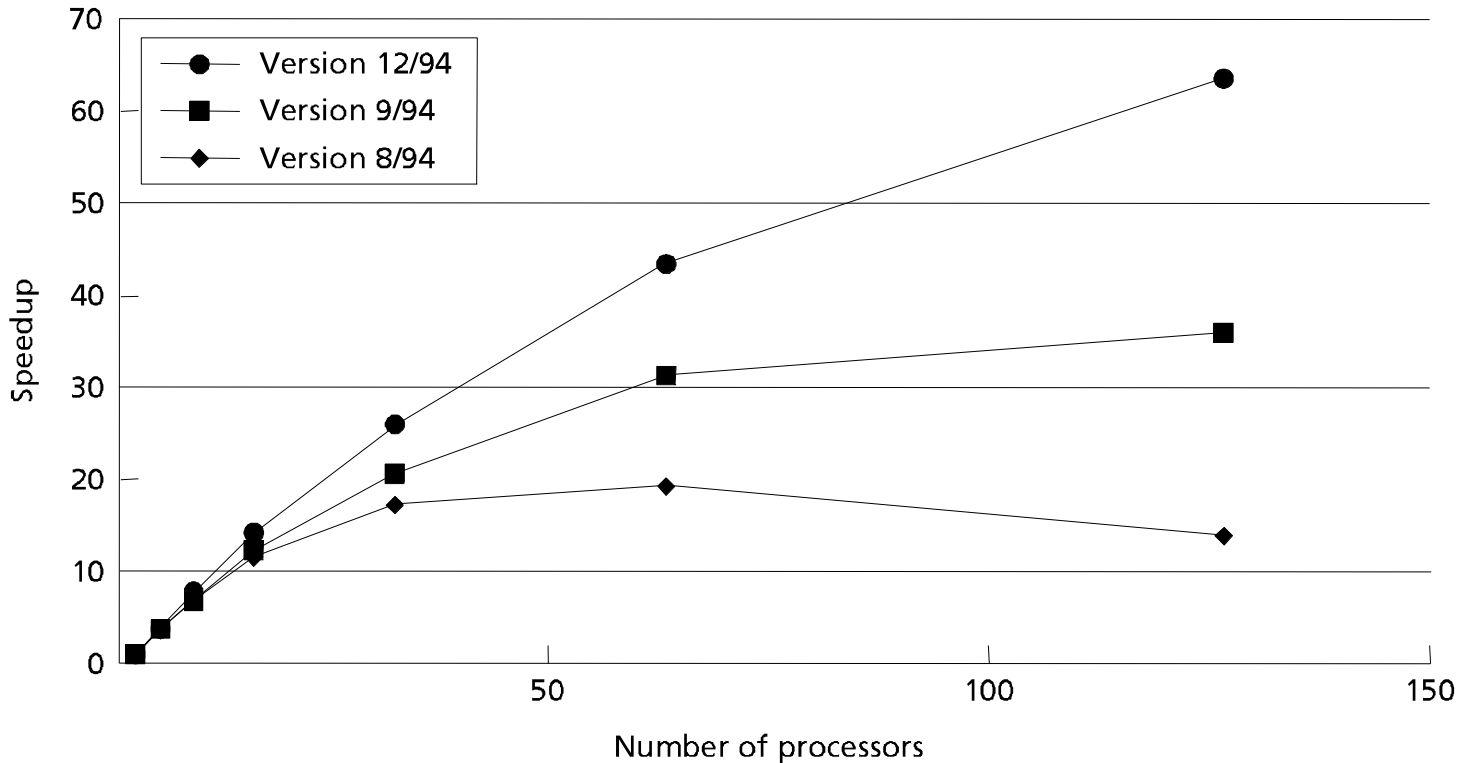


# Inženjerske aplikacije

---

- Veliki paralelni računari neophodni u mnogim industrijama:
  - Naftna (analiza rezervoara)
  - Automobilska (simulacija sudara, ...)
  - Aeronautička (aerodinamički modeli, strukturalna mehanika)
  - CAD
  - Farmaceutska (modeliranje molekula)
  - Modelovanje ekonomskih procesa
  - Bankarstvo, osiguranje, analiza rizika
  - Regresivni testovi za veliki SW
  - Vizuelizacija
    - U svim pomenutim slučajevima
    - Industrija zabave
    - Arhitektura
  - ...

# Interakcija aplikacija-arhitektura



- AMBER - program za simulaciju dinamike molekula
- Početna tačka - vektorski kod za Cray-1
- 145 MFLOP - Cray90, 406 - 128-processor Paragon, 891 - 128-processor Cray T3D

# Komercijalne aplikacije

---

- Zasnovane na paralelizmu sve većeg obima
  - Procesna snaga određuje obim posla koji može da se uradi
  - Serveri baza podataka
  - OLTP obrada transakcija
  - Podrška za sisteme odlučivanja
  - *"data mining"*
  - *"data warehousing"* ...
- Aplikacije za PMD
  - Multimedija (govor, zvuk, slika, video!)
  - Zabavne
  - Zdravstvene
  - Poslovne
  - Društvene, ...

# Trendovi aplikacije - rezime

---

- Prelazak na paralelno procesiranje za naučne i inženjerske aplikacije
- Vrlo zastupljeno i u komercijalnim aplikacijama
  - baze podataka, transakcije, finansije
  - manji, ali i veći sistemi
- Mobilne platforme uveliko izvršavaju višenitne (*multithreaded*) programe, koji vrlo liče na paralelne programe
- Zahtevi za efikasnije izvršavanje sekvencijalnih aplikacija
  - Mali MP, CMPs, TLS
- Zahtevi aplikacija su veliki i biće sve veći

# Trendovi tehnologije

## ○ *Feature size* ( $\lambda$ )

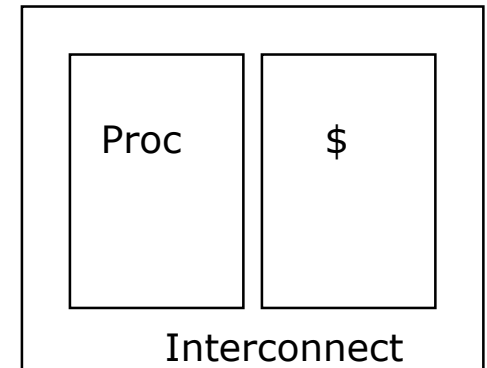
- Min. veličina tranzistora ili žice po x ili y
- Osnovni napredak – smanjenje  $\lambda$   
10  $\mu\text{m}$  (1971) -> 32 nm (2011)
- Performansa tranzistora skalira linearno
  - Kašnjenje po žici se ne popravlja sa smanjenjem  $\lambda$ !
- Gustina integracije skalira sa  $\lambda^2$  (čak i brže)

## ○ Performanse > 100x po dekadi

- takt < 10x, ostalo doprinos broja tranzistora

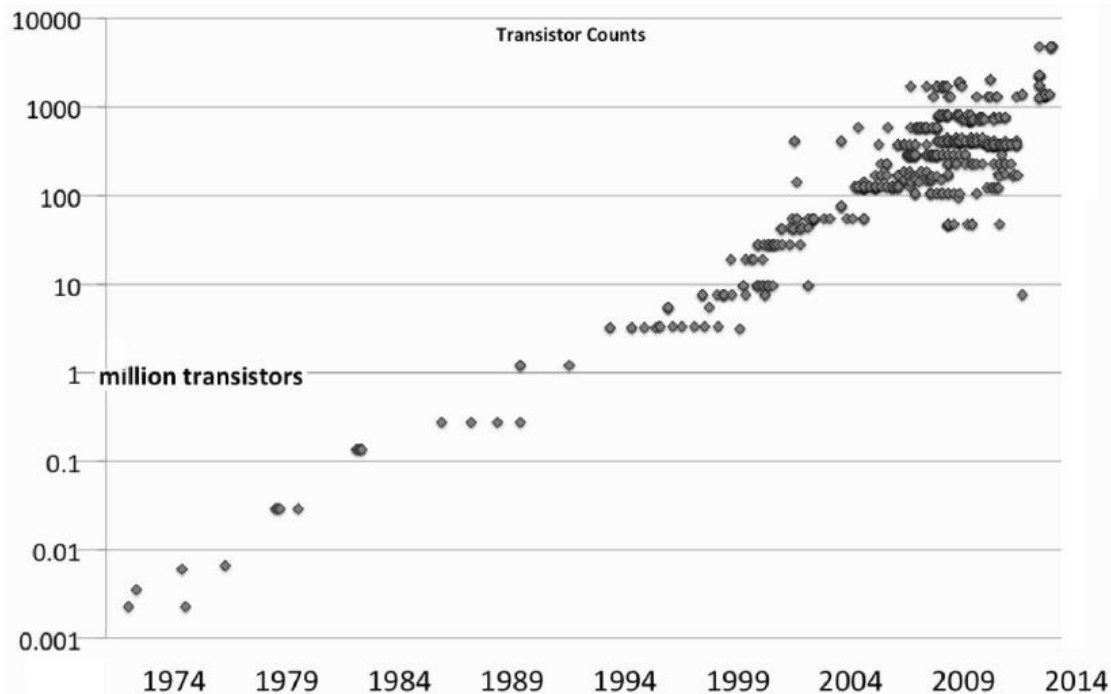
## ○ Kako iskoristiti sve više tranzistora?

- Paralelna obrada
  - Više operacija po ciklusu smanjuje CPI
- Lokalnost u pristupu podacima
  - Izbjegava latenciju i smanjuje CPI
  - Poboljšava iskorišćenje procesora
- Za oboje potrebni resursi - kompromis

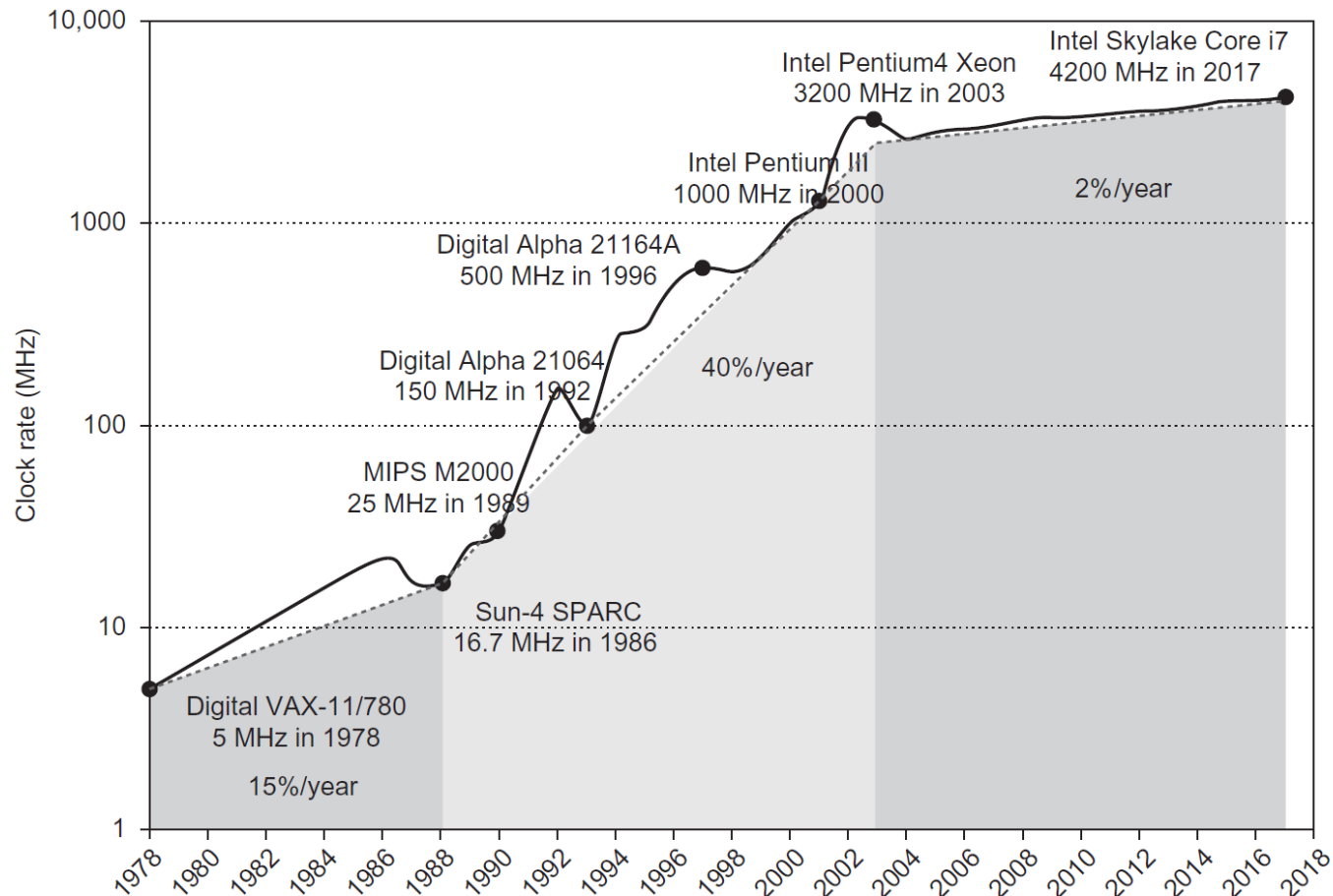


# Trendovi tehnologije

- Tehnologija integrisanih kola
  - Gustina tranzistora: 35%/g.
  - Veličina čipa: 10-20%/g.
  - Ukupno: 40-55%/g. (x2/1.5-2g. *Moore-ov zakon*)



# Trendovi tehnologije



- zasićenje ubrzavanja takta (usled *power wall*)

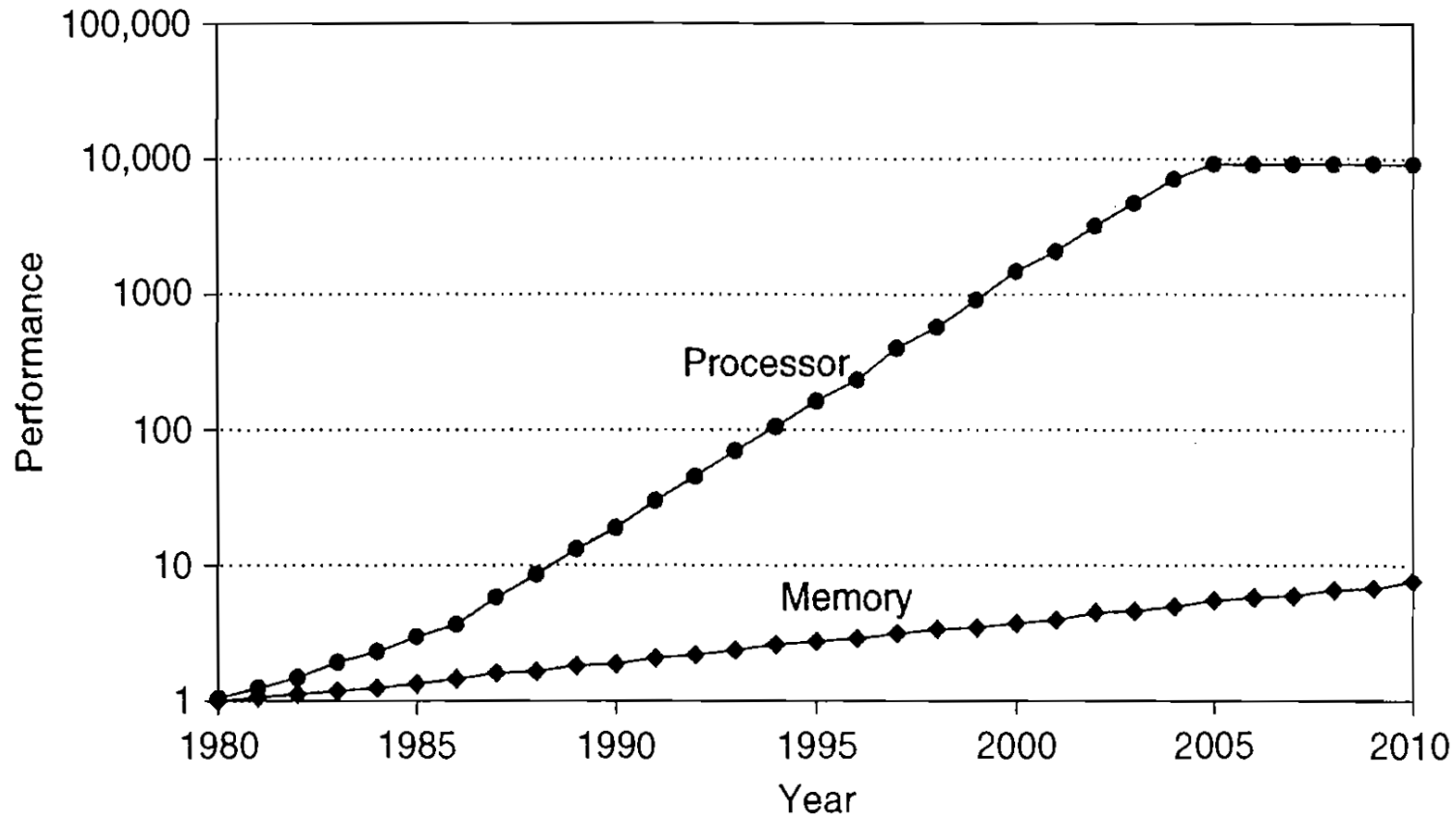
# Trendovi u memorijskoj tehnologiji

---

- Disparitet između kapaciteta i brzine memorije sve izraženiji
  - Kapacitet porastao 1000x 1980-95, brzina samo 2x (oko 7% godišnje)
  - Razlika između brzine CPU i memorije sve veća
- Paralelizam i lokalnost u memorijskim sistemima
  - Treba preneti više podataka u paraleli brzim "pipeline" prenosom kroz relativno "uski" interfejs
  - Dublje hijerarhije keš memorija
  - Organizacija keš memorija?
  - Baferske keš memorije sa najskorije korišćenim podacima
- Paralelizam povećava efektivnu veličinu svakog nivoa hijerarhije, bez produženja latencije
- Fleš memorije
  - Kapaciteti rastu 50-60% godišnje (15-20X jeftiniji po bitu od DRAM)
- Diskovi – paralelizam (npr. RAID)+ keširanje
  - Kapaciteti rastu do 40 % godišnje (300-500X jeftiniji po bitu od DRAM)



# Trendovi u memorijskoj tehnologiji



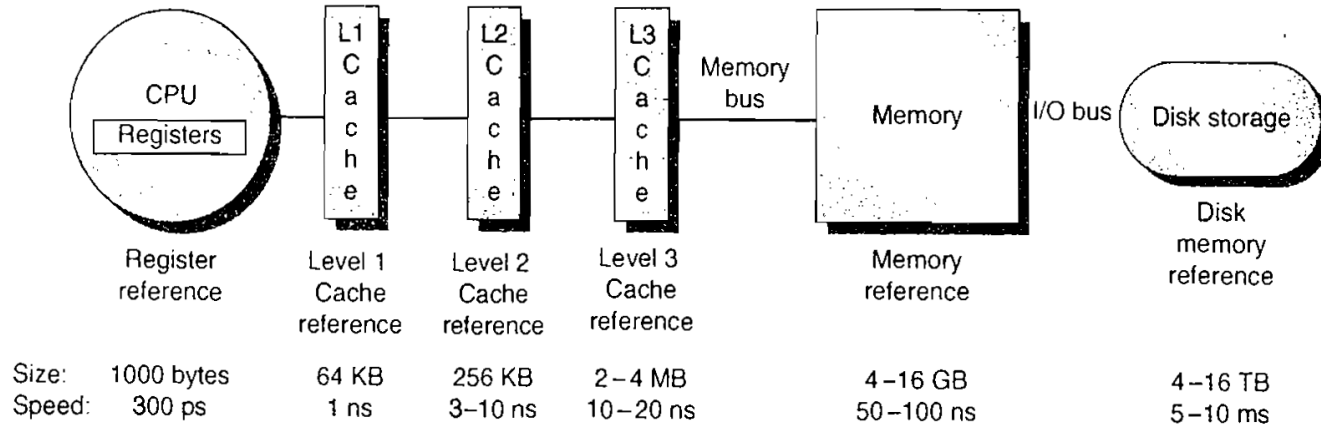
# Trendovi u memorijskoj tehnologiji

---

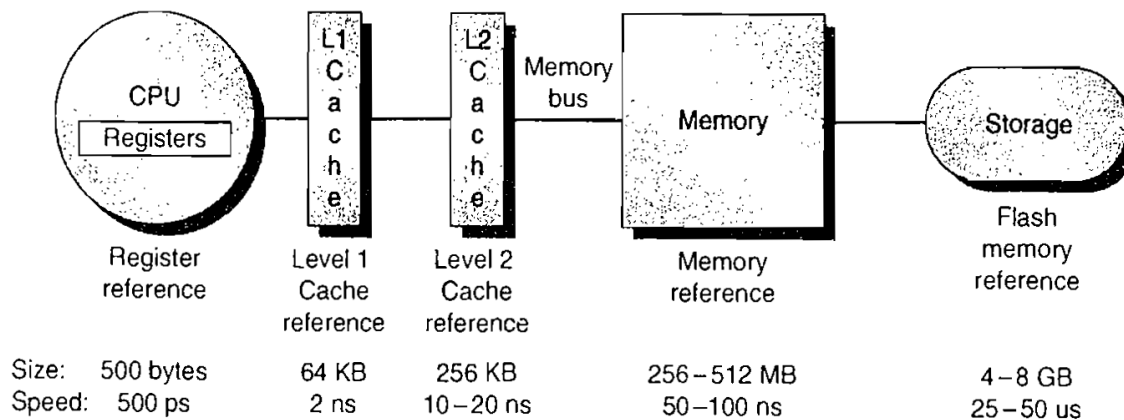
- Usporavanje rasta kapaciteta DRAM memorije

<b>Year</b>	<b>DRAM growth rate</b>	<b>Characterization of impact on DRAM capacity</b>
1990	60%/year	Quadrupling every 3 years
1996	60%/year	Quadrupling every 3 years
2003	40%–60%/year	Quadrupling every 3 to 4 years
2007	40%/year	Doubling every 2 years
2011	25%–40%/year	Doubling every 2 to 3 years

# Trendovi u memorijskoj tehnologiji



(a) Memory hierarchy for server



(b) Memory hierarchy for a personal mobile device

# Trendovi tehnologije

---

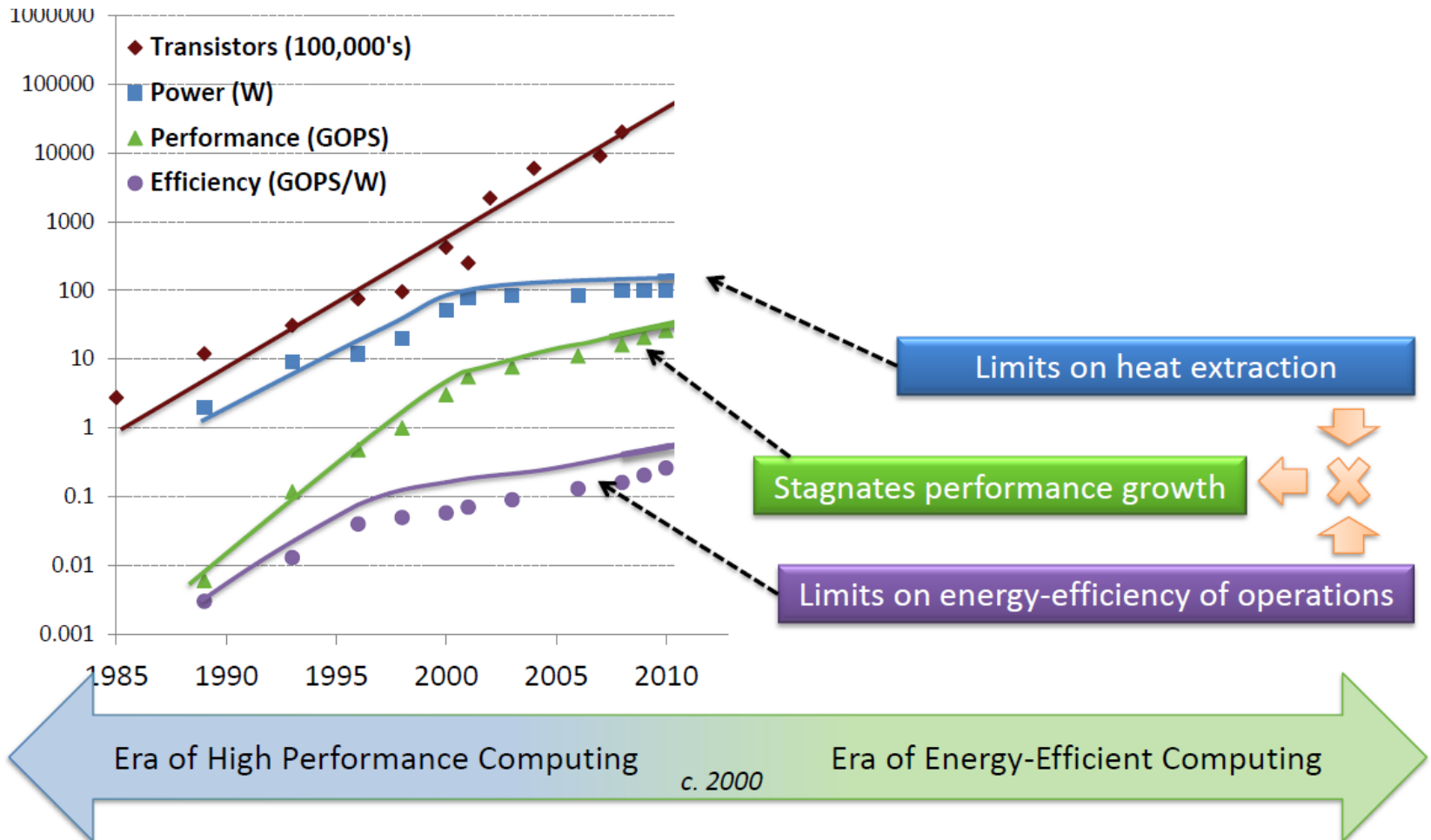
- Problemi: dovesti energiju, odvesti disipaciju
- Potrošnja
  - Procesor u mobilnom telefonu 0.5-2W
  - Intel 80386 ~ 2 W
  - 3.3 GHz Intel Core i7 do 130 W
  - Superračunari ~ MW
- Toplota mora biti disipirana sa 1.5 x 1.5 cm čipa
- Ovo je granica za vazdušno hlađenje
- Statička snaga
  - Srazmerna naponu i broju tranzistora
  - Struje curenja
- Dinamička snaga
  - Srazmerna kvadratu napona (za 20g. sa 5V na 1V)
  - Srazmerna frekvenciji

# Trendovi tehnologije

---

- Tehnike za smanjivanje snage
  - Isključivanje takta za neaktivne module
  - Režimi rada sa smanjenom frekvencijom (*Dynamic Voltage-Frequency Scaling*) pogotovo kod PMD
  - Projektovanje za tipičan slučaj sa sigurnosnim mehanizmom (*emergency slowdown*)
  - Privremeni *turbo* režim kada je to sigurno (npr. *overclocking* sa 3.3GHz na 3.6GHz kod i7)

# Trendovi tehnologije



# Trendovi tehnologije

---

- Ograničenja Si tehnologije (1 ns na 3cm)
- Energetska efikasnost i disipacija (*power wall*)
- Disparitet brzine CPU i memorije (*memory wall*)
- Sa smanjenjem  $\lambda$ , pitanje interne pouzdanosti
- Troškovi projektovanja i verifikacije
- Neminovnost CMP (*multicore, manycore*)
- 1000+ procesora na čipu moguće
- Cisco mrežni procesor
  - 188 procesora, 5-stage Tensilica, 1/3 DRAM i spec. FU
  - 130nm, 18x18mm, 35W, 250MHz, 50GIPS

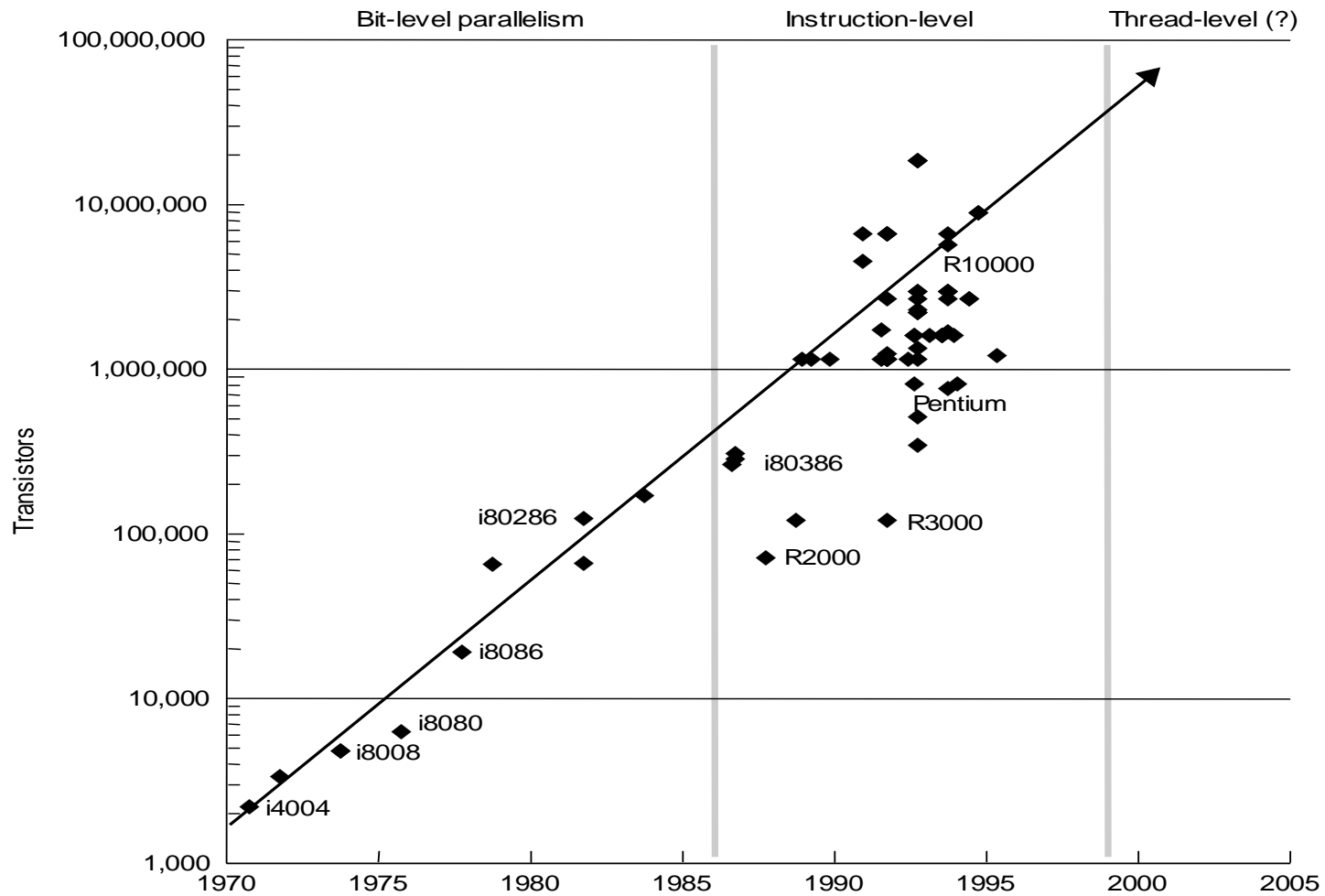
# Trendovi arhitekture

---

- Arhitektura prevodi “darove” tehnologije u performanse i mogućnosti
- Razrešava kompromis (*trade-off*) između paralelizma i lokalnosti
  - Optimum obično po sredini
  - Mikroprocesor: 1/3 obrada, 1/3 keš, 1/3 *off-chip* sprega
  - Kompromis varira zavisno od obima sistema i napretka tehnologije
- Razumevanje trendova arhitekture mikroprocesora
  - Daje intuiciju za projektne odluke u paralelnim sistemima
  - Pokazuje osnovnu ulogu paralelizma i u “sekvencijalnim” računarima



# VLSI – IV generacija

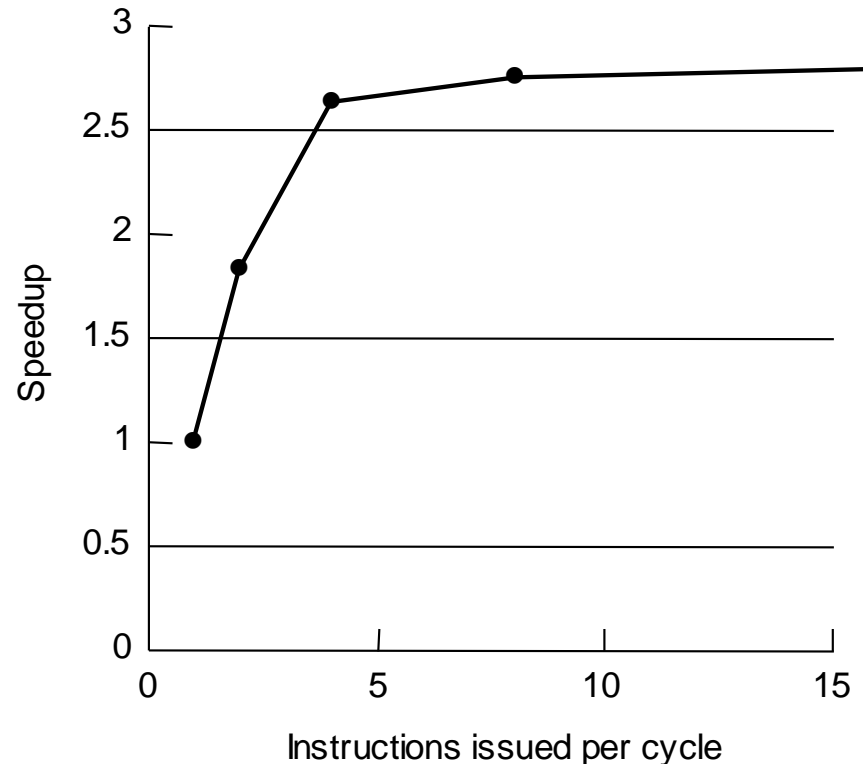
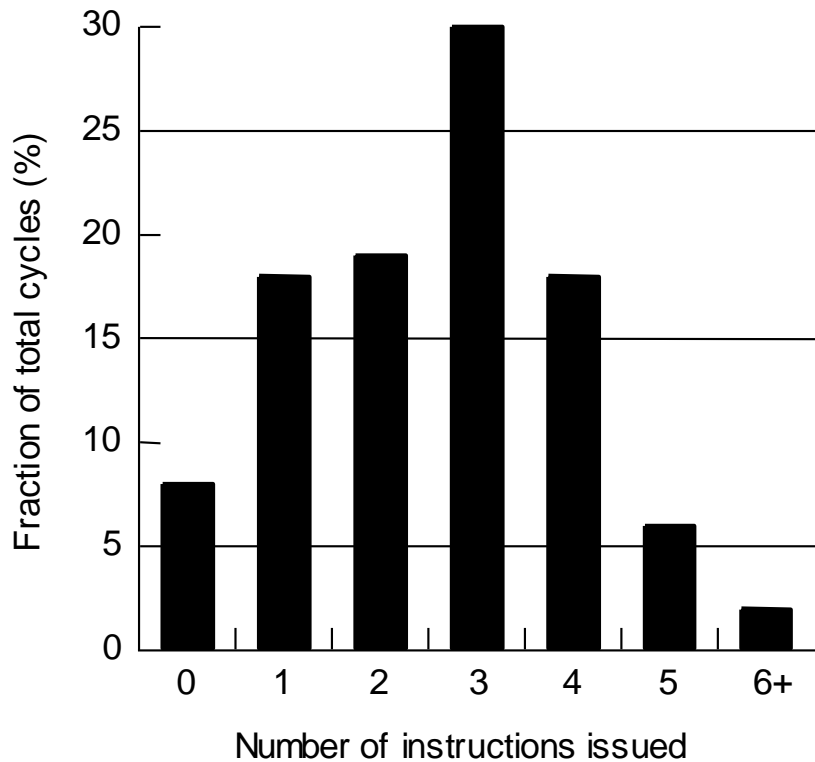


# Trendovi arhitekture

---

- Prepoznatljiv trend u VLSI je povećavanje nivoa paralelizma
  - ... 1985: bit-paralelizam (širina staze podataka):
    - 4-bit >> 8-bit >> 16-bit >> 32-bit > usporava ka 64
    - smanjuje se broj ciklusa u obradi
    - potreba za 128-bit nije urgentna (1-addr.bit godišnje)
    - ključna tačka - kad pun 32-bit micro i keš staju na čip ('86)
  - 80-te ...90 -te: ILP
    - protočna obrada i "proste" instrukcije + napredak prevodioca (RISC)
    - *on-chip* keš i više FU => superskalar
    - veliko usložnjenje: *out-of-order* izvršavanje, spekulacija, predikcija
      - problemi – kontrola toka i latencija
      - veliki zahevi za resurse na čipu
  - Zatim >> paralelizam na nivou niti (*thread*) - TLP

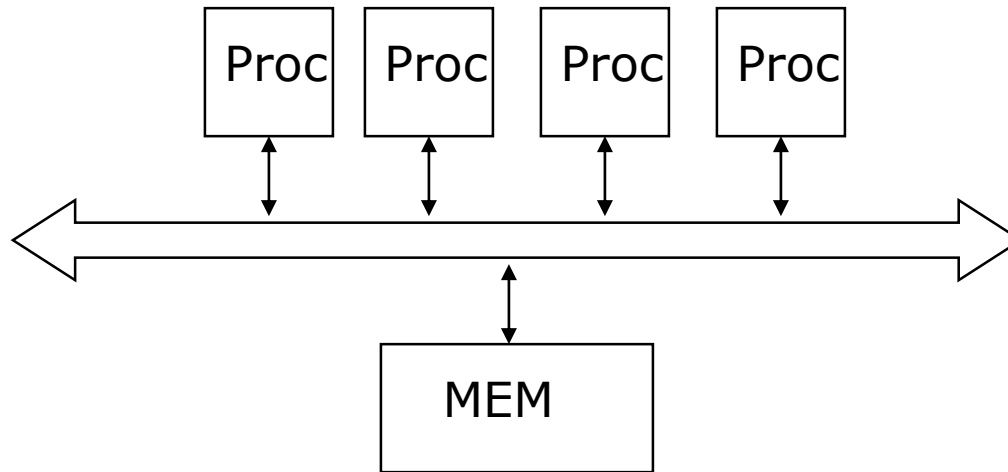
# Potencijali ILP-a



- Simulacije na "idealnoj" mašini bez ograničenja na resurse (FU) i prihvatanje instrukcija, "renaming", 100% predikcija skoka – bez zastoja izvršavanja (J'91)

# TLP “on board”

---



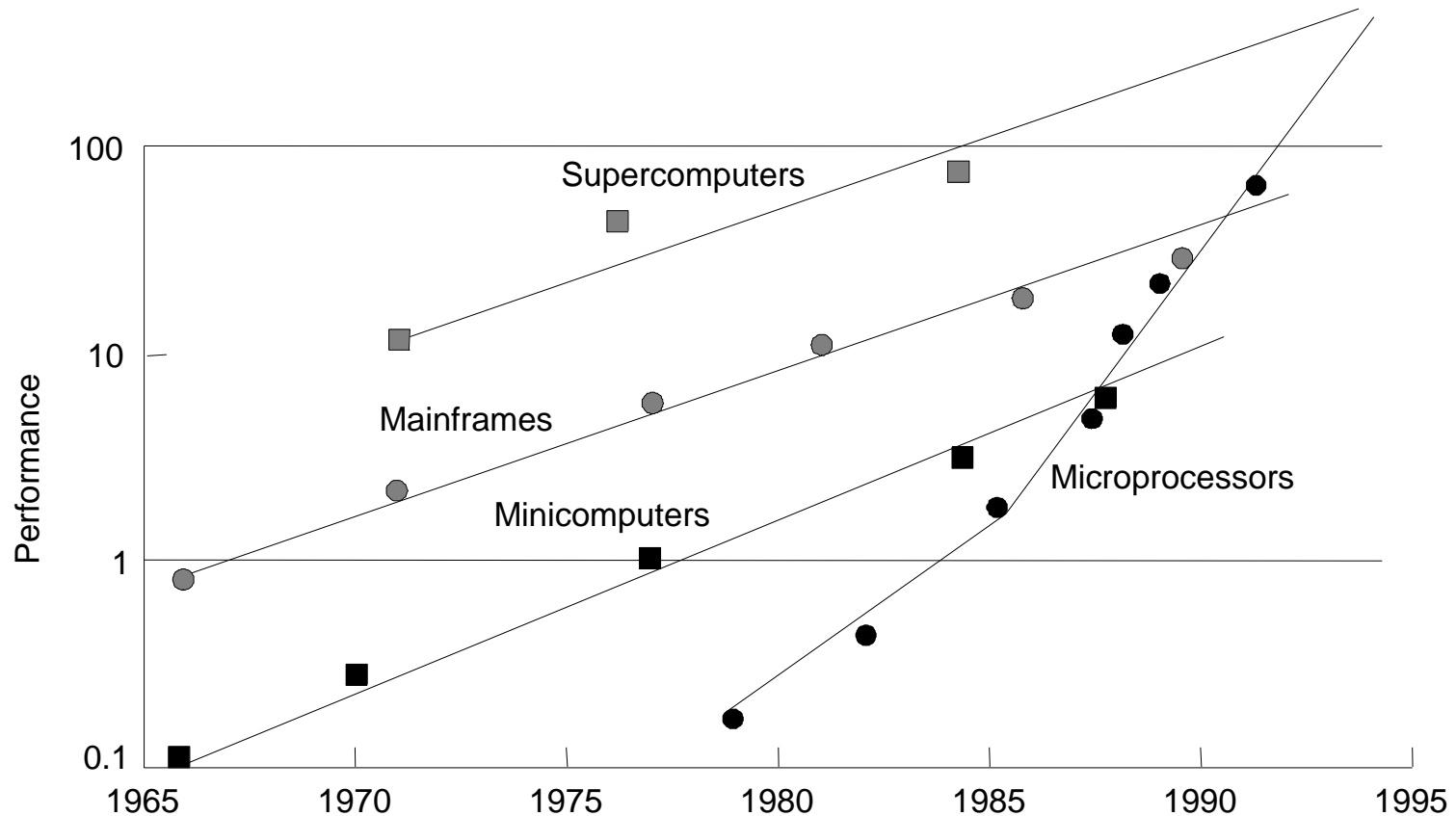
- Mikroprocesor prirodan gradivni element MP sistema sa zajedničkom memorijom
  - Olakšano povezivanje (npr. Pentium-Pro)
- Brži procesori zasićuju magistralu, zato unapređenje ove tehnologije 90-tih
  - Dominira tržištem servera i poslovnih sistema, ide ka desktopu
  - Širok opseg sistema od CMP do velikog obima

# Ekonomičnost

---

- Mikroprocesori na tržištu ne samo brzi i moćni, nego i jeftini
  - Cene razvoja – 10x M\$
  - Dupliranje serije - 10% manja cena primerka
  - Masovno se prodaju za razliku od superračunara
  - Iskoristiti ulaganje i upotrebiti kao gradivni blok
- Multiprocesori “pogurani” od SW tržišta (npr., serveri BP) kao i od HW tržišta
- Mali SMP sa zajedničkom magistralom postao standardan artikal
- Multiprocesor na čipu je odavno realnost !

# Ekonomičnost



- Mikroprocesor kao gradivni blok za MP!

# Trendovi performanse

Microprocessor	16-Bit address/bus, microcoded	32-Bit address/bus, microcoded	5-Stage pipeline, on-chip I & D caches, FPU	2-Way superscalar, 64-bit bus	Out-of-order 3-way superscalar	Out-of-order superpipelined, on-chip L2 cache	Multicore OOO 4-way on chip L3 cache, Turbo
Product	Intel 80286	Intel 80386	Intel 80486	Intel Pentium	Intel Pentium Pro	Intel Pentium 4	Intel Core i7
Year	1982	1985	1989	1993	1997	2001	2015
Die size (mm <sup>2</sup> )	47	43	81	90	308	217	122
Transistors	134,000	275,000	1,200,000	3,100,000	5,500,000	42,000,000	1,750,000,000
Processors/chip	1	1	1	1	1	1	4
Pins	68	132	168	273	387	423	1400
Latency (clocks)	6	5	5	5	10	22	14
Bus width (bits)	16	32	32	64	64	64	196
Clock rate (MHz)	12.5	16	25	66	200	1500	4000
Bandwidth (MIPS)	2	6	25	132	600	4500	64,000
Latency (ns)	320	313	200	76	50	15	4
Memory module	DRAM	Page mode DRAM	Fast page mode DRAM	Fast page mode DRAM	Synchronous DRAM	Double data rate SDRAM	DDR4 SDRAM
Module width (bits)	16	16	32	64	64	64	64
Year	1980	1983	1986	1993	1997	2000	2016
Mbits/DRAM chip	0.06	0.25	1	16	64	256	4096
Die size (mm <sup>2</sup> )	35	45	70	130	170	204	50
Pins/DRAM chip	16	16	18	20	54	66	134
Bandwidth (MBytes/s)	13	40	160	267	640	1600	27,000
Latency (ns)	225	170	125	75	62	52	30

# Trendovi performanse

Local area network	Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet	10 Gigabit Ethernet	100 Gigabit Ethernet	400 Gigabit Ethernet
IEEE standard	802.3	803.3u	802.3ab	802.3ac	802.3ba	802.3bs
Year	1978	1995	1999	2003	2010	2017
Bandwidth (Mbits/seconds)	10	100	1000	10,000	100,000	400,000
Latency ( $\mu$ s)	3000	500	340	190	100	60
Hard disk	3600 RPM	5400 RPM	7200 RPM	10,000 RPM	15,000 RPM	15,000 RPM
Product	CDC WrenI 94145-36	Seagate ST41600	Seagate ST15150	Seagate ST39102	Seagate ST373453	Seagate ST600MX0062
Year	1983	1990	1994	1998	2003	2016
Capacity (GB)	0.03	1.4	4.3	9.1	73.4	600
Disk form factor	5.25 in.	5.25 in.	3.5 in.	3.5 in.	3.5 in.	3.5 in.
Media diameter	5.25 in.	5.25 in.	3.5 in.	3.0 in.	2.5 in.	2.5 in.
Interface	ST-412	SCSI	SCSI	SCSI	SCSI	SAS
Bandwidth (MBytes/s)	0.6	4	9	24	86	250
Latency (ms)	48.3	17.1	12.7	8.8	5.7	3.6

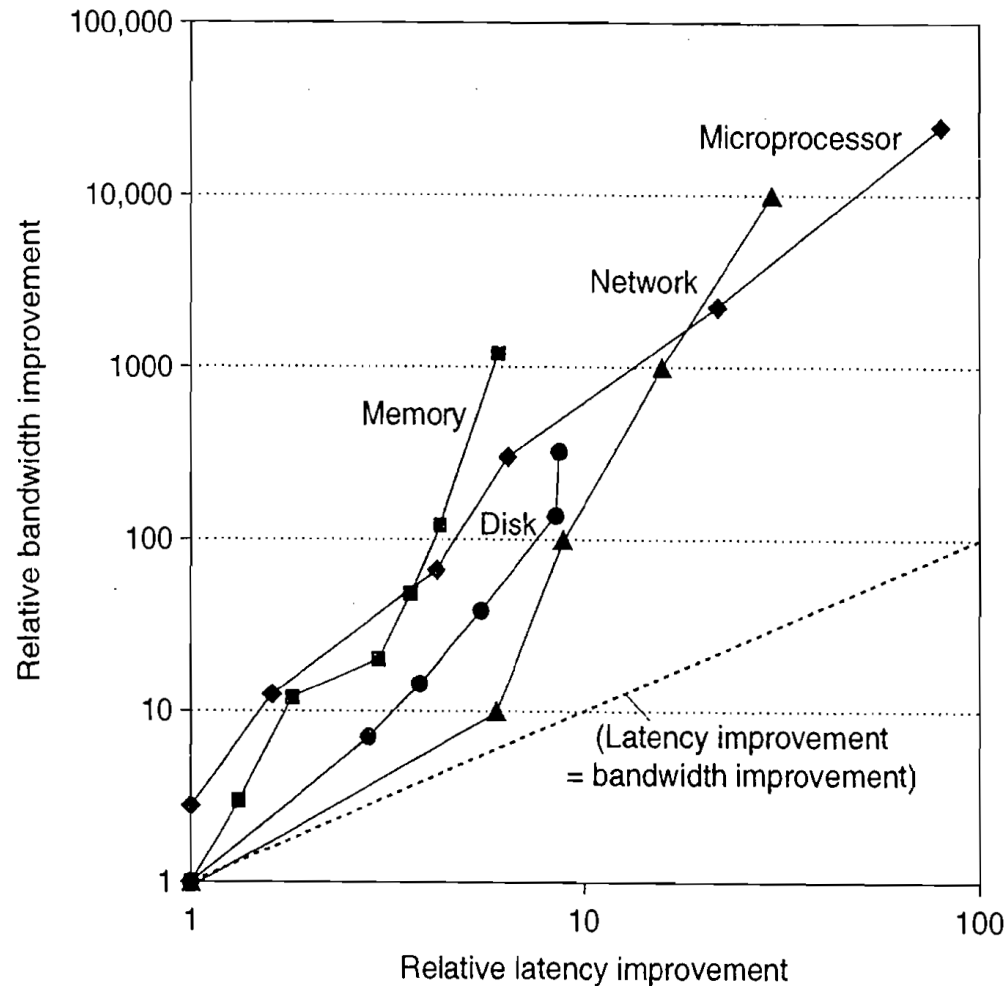


# Trendovi performanse

---

- *Bandwidth* ili *throughput*
  - Ukupan posao urađen za dato vreme
  - 10,000-25,000x poboljšanje za procesore
  - 300-1200x poboljšanje za memorije i diskove
- Latencija ili vreme odgovora
  - Vreme od početka do završetka događaja
  - 30-80x poboljšanje kod procesora
  - 6-8x poboljšanje za memorije i diskove
- *Bandwidth* se brže poboljšava od latencije
  - Otprilike kvadratno

# Performanse

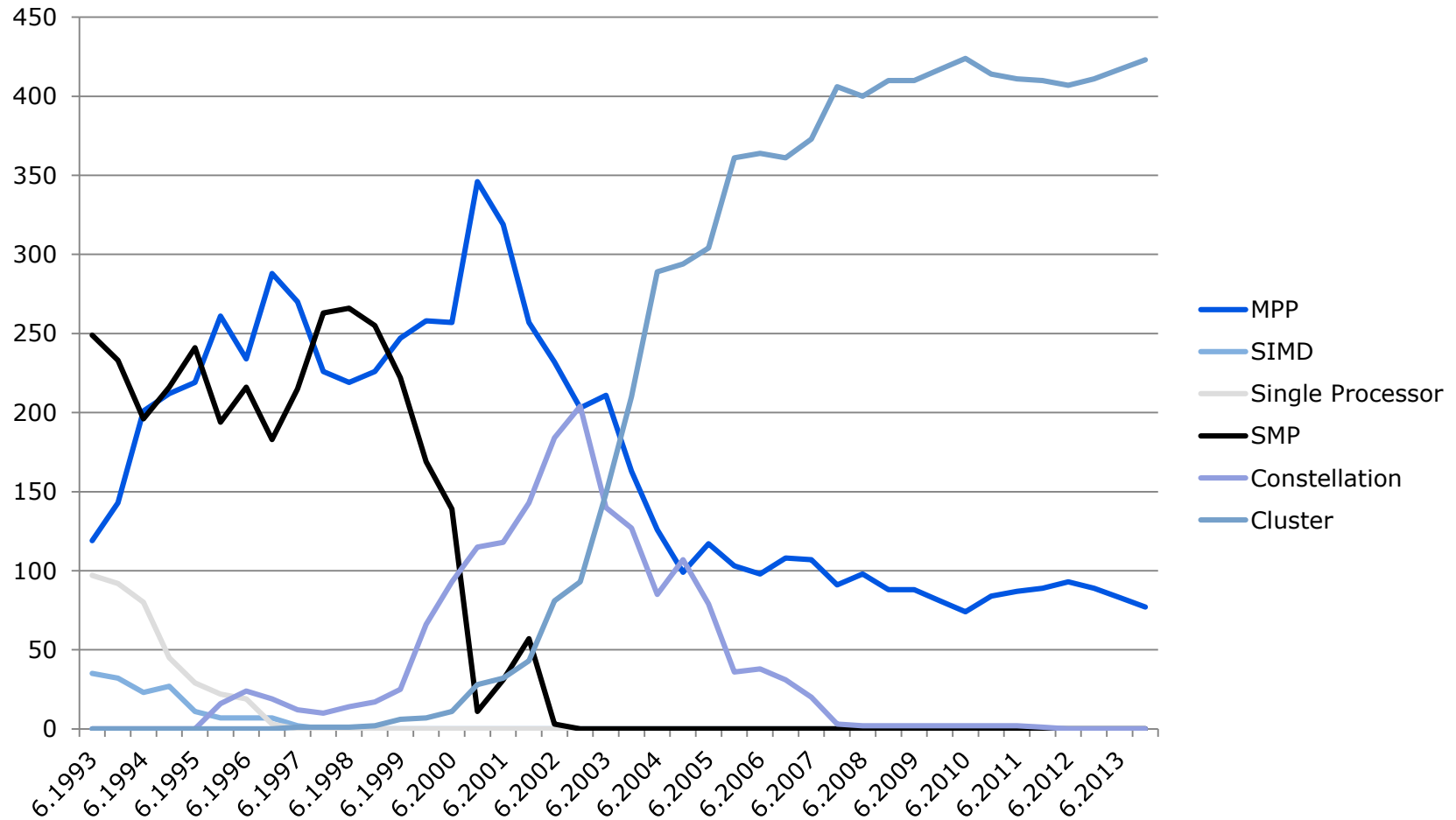


# Performanse

---

- Superračunari - zahtev za maksimalnim performansama
- Istorijski uvodili i verifikovali inovativne arhitekture i tehnike (protočna obrada, itd.)
  - Manje tržište od komercijalnih
  - Dominiraju vektorski računari počevši od 70-tih
  - Microprocesori ostvarili veliki napredak u FP performansama zahvaljujući:
    - Ubrzanju takta
    - Protočnim FPU
    - ILP
    - Sve efektivnijem keširanju
  - Plus ekonomičnost
- MPP zamenjuju vektorske superračunare

# Top500



# Top500 - Summit - IBM Power System AC922

Site:	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory
System URL:	<a href="http://www.olcf.ornl.gov/olcf-resources/compute-systems/summit/">http://www.olcf.ornl.gov/olcf-resources/compute-systems/summit/</a>
Manufacturer:	IBM
Cores:	2,414,592
Memory:	2,801,664 GB
Processor:	IBM POWER9 22C 3.07GHz
Interconnect:	Dual-rail Mellanox EDR Infiniband
<b>Performance</b>	
Linpack Performance (Rmax)	148,600 TFlop/s
Theoretical Peak (Rpeak)	200,795 TFlop/s
Nmax	16,473,600
HPCG [TFlop/s]	2,925.75
<b>Power Consumption</b>	
Power:	10,096.00 kW (Submitted)
Power Measurement Level:	3
Measured Cores:	2,397,824

# Green500

TOP500						Power
Rank	Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Power (kW)	Efficiency (GFlops/watts)
1	469	<b>DGX SaturnV Volta</b> - NVIDIA DGX-1 Volta36, Xeon E5-2698v4 20C 2.2GHz, Infiniband EDR, NVIDIA Tesla V100 , Nvidia NVIDIA Corporation United States	22,440	1,070.0	97	15.113
2	1	<b>Summit</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband , IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	10,096	14.719
3	8	<b>AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)</b> - PRIMERGY CX2570 M4, Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR , Fujitsu National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	391,680	19,880.0	1,649	14.423
4	393	<b>MareNostrum P9 CTE</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, NVIDIA Tesla V100 , IBM Barcelona Supercomputing Center Spain	18,360	1,145.0	81	14.131
5	25	<b>TSUBAME3.0</b> - SGI ICE XA, IP139-SXM2, Xeon E5-2680v4 14C 2.4GHz, Intel Omni-Path, NVIDIA Tesla P100 SXM2 , HPE GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	135,828	8,125.0	792	13.704

# Razlozi za paralelne arhitekture

---

- Sve veća zastupljenost
  - Ekonomičnost, tehnologija, arhitektura, zahtevi aplikacije
- Sve platforme - MP
- Paralelizam se koristi na više nivoa:
  - ILP
  - Multiprocesorski serveri
  - MPP
- Perspektiva sa strane memorijskog sistema slična perspektivi sa strane procesora
  - Povećana propusna moć, smanjena prosečna latencija sa lokalnim memorijama
  - Cena komunikacije
- Spektar paralelnih arhitektura
  - Opseg cena, performanse i skalabilnost