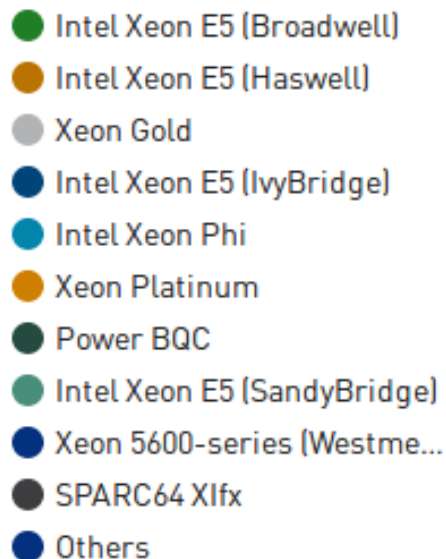
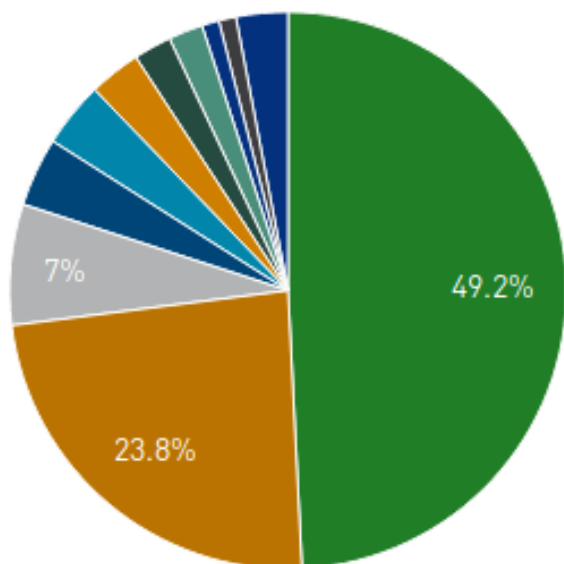


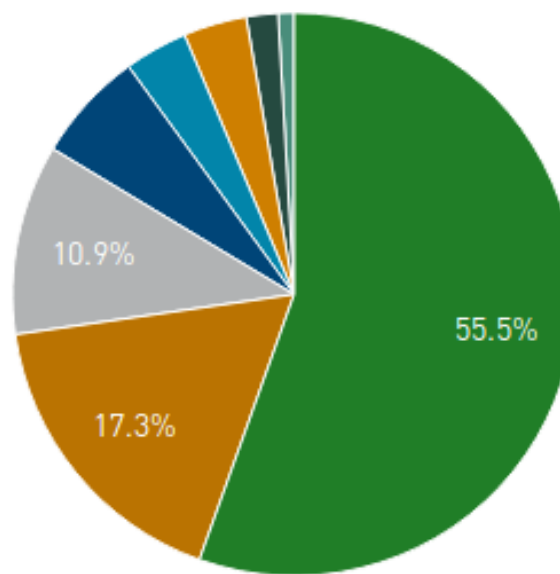
- Konkurentno, paralelno i distribuirano programiranje
  - Nema poptunog slaganja oko definicije
  - Konkurentno: više taskova su istovremeno u izvršavanju
  - Paralelno: više taskova tesno sarađuju
  - Distribuirano: više programa mogu da međusobno sarađuju
  - I paralelno i distribuirano programiranje su konkurentno programiranje
  - Generalno, paralelno zahteva da su jezgra fizički blizu jedno drugog, distribuirano je kada je struktura razućenija
  - Ili: deljena memorija je paralelno programiranje, distribuirana je distribuirano

- Današnji superračunari (TOP500 Jun 2018)

Processor Generation System Share

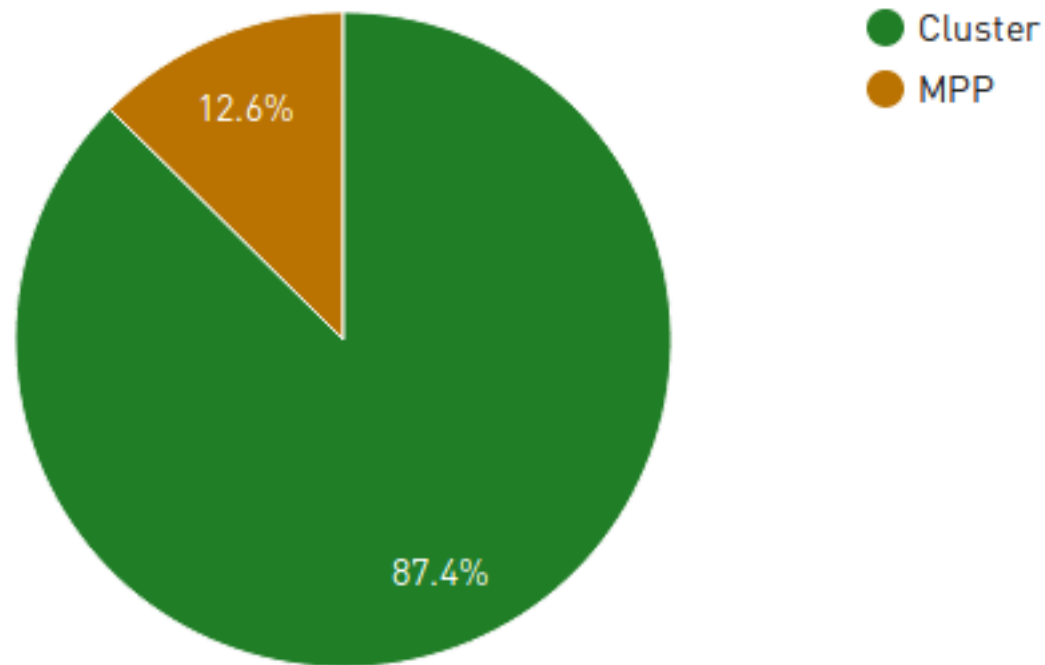


Accelerator/CP Family System Share



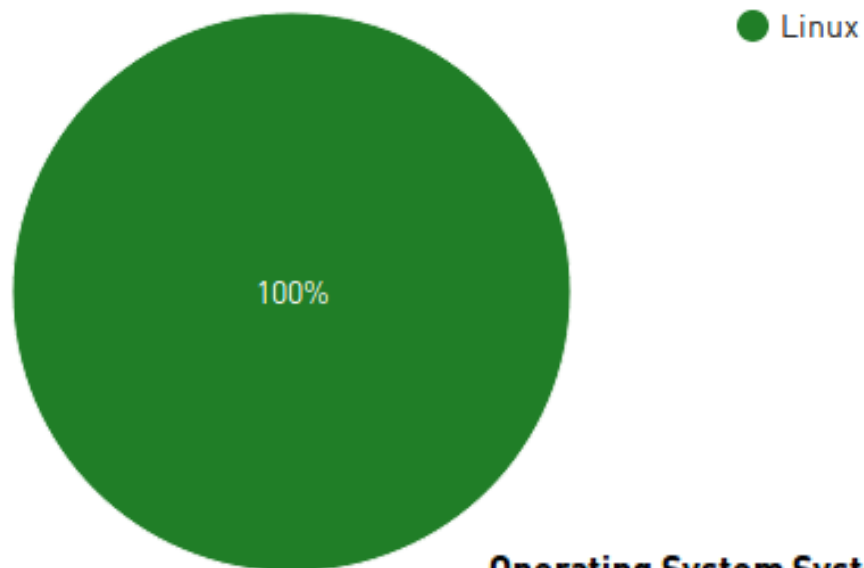
- Današnji superračunari (TOP500 Jun 2018)

Architecture System Share

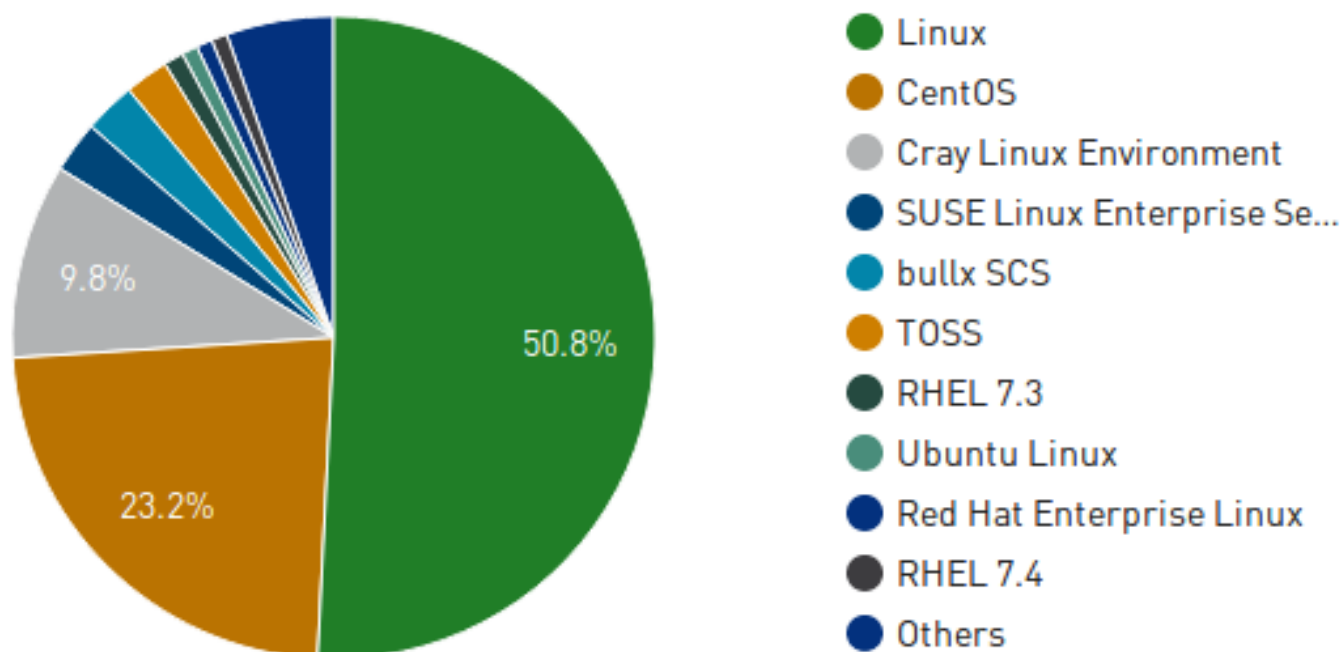


- Današnji superračunari (TOP500 Jun 2018)

Operating system Family System Share



Operating System System Share



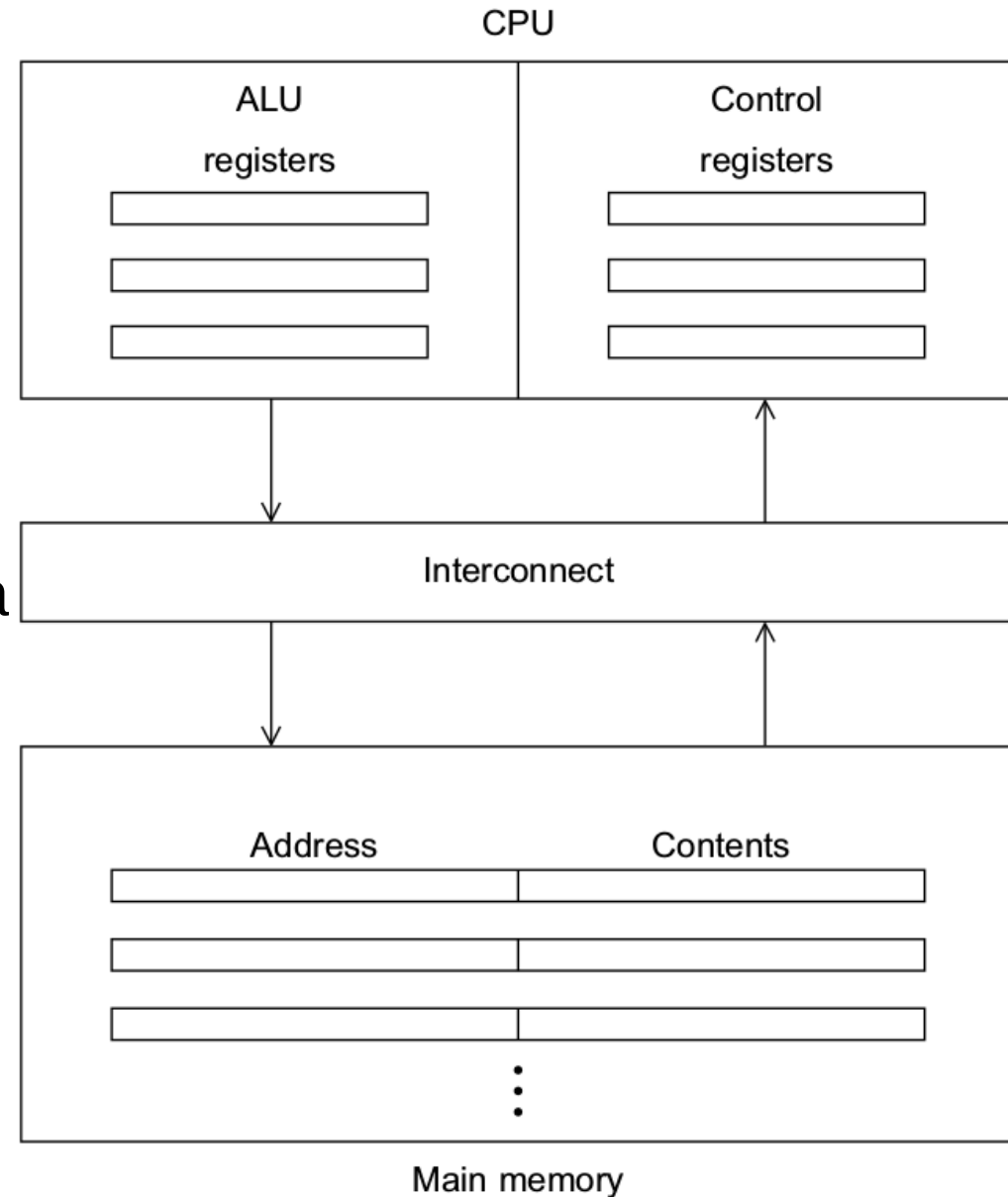
- Današnji superračunari (TOP500 Jun 2018)
  - Summit - IBM Power System AC922, **IBM POWER9** 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband , IBM, DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory, United States
  - Sunway TaihuLight - Sunway MPP, **Sunway SW26010 260C** 1.45GHz, Sunway , NRCPC, National Supercomputing Center in Wuxi, China
  - Sierra - IBM Power System S922LC, **IBM POWER9** 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband , IBM, DOE/NNSA/LLNL, United States
  - Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, **Intel Xeon** E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000 , NUDT, National Super Computer Center in Guangzhou, China
  - AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) - PRIMERGY CX2550 M4, **Intel Xeon** Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR , Fujitsu, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan
  - Piz Daint - Cray XC50, **Intel Xeon** E5-2690v3 12C 2.6GHz, Aries interconnect , NVIDIA Tesla P100 , Cray Inc., Swiss National Supercomputing Centre (CSCS), Switzerland
  - Titan - Cray XK7, **AMD Opteron** 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x , Cray Inc., DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory, United States
  - Sequoia - BlueGene/Q, **Power BQC** 16C 1.60 GHz, Custom , IBM, DOE/NNSA/LLNL, United States
  - Trinity - Cray XC40, **Intel Xeon Phi** 7250 68C 1.4GHz, Aries interconnect , Cray Inc., DOE/NNSA/LANL/SNL, United States
  - Cori - Cray XC40, **Intel Xeon Phi** 7250 68C 1.4GHz, Aries interconnect , Cray Inc., DOE/SC/LBNL/NERSC, United States

- Paralelizam u programima:
  - Na nivou podataka (DLP, Data-Level Parallelism) - više podataka se istovremeno obrađuje
  - Na nivou zadataka (TLP, Task-Level Parallelism) - više (relativno) nezavisnih zadataka se paralelno izvršavaju
- Klase paralelnih arhitektura
  - Paralelizam na nivou naredbi (Instruction-Level Parallelism) - protočna struktura (pipeline), spekulativno izvršavanje
  - Vektorske arhitekture i GPU - primena jedne naredbe nad više podataka paralelno
  - Paralelizam niti (Thread-Level Parallelism) - zasnovan na DLP ili TLP
  - Paralelizam na zahtev (Request-Level Parallelism) - zasnovan na labavom TLP

- Flinova taksonomija (Michael Flynn, 1966)
  - SISD (Single instruction stream, single data stream) - jednojezgarni procesor
  - SIMD (Single instruction stream, multiple data streams) - svako jezgro ima svoju memoriju, kontrolni procesor
  - MISD (Multiple instruction streams, single data stream) - komercijalno ne postoji
  - MIMD (Multiple instruction streams, multiple data streams) - uglavnom (slabo povezani) TLP; Generalizacija SIMD, ali slabije optimizovano za DLP
- Realni sistemi mogu biti kombinacija navedenih klasa

- Većina današnjih paralelnih računara je nastala na osnovama “serijskih” računara zasnovanih na Von Nojmanovoj arhitekturi

- memorija
  - kod i podaci, adrese
- procesor
  - ALU, registri (PC)
- sabirnica
  - adrese, podaci, kontrola
- CPU je mnogo brži od memorije
  - Razlozi?





- Arhitektura računara
  - arhitektura naredbi
  - organizacija
    - dizajn na nivou logičkih kola i podsistema
  - hardverska implementacija
    - integrisana logička kola na nivou tranzistora
    - pakovanje u kućište
    - napajanje
    - hlađenje
    - prevazilaženje tehničkih problema

- Arhitektura naredbi (ISA - instruction set architecture)
  - veza između softvera i hardvera, ono što se od procesora vidi sa strane programera
  - Klasa arhitekture naredbi
    - gotovo sve zasnovane na registrima opšte namene
      - stek, akumulatorske?
    - operandi su registri, memorija ili konstante
    - registarsko-memorijka podklasa
      - operandi za većinu naredbi mogu biti i registri i memorija - x86
    - load-store podklasa
      - memoriji se pristupa preko posebnih naredbi, većina radi samo sa registrima - ARM, RISC-V, POWER

- Arhitektura naredbi (ISA - instruction set architecture)
  - Adresiranje memorije
    - svi komercialni procesori koriste adrese na nivou bajta
    - neki zahtevaju da podaci budu poravnati (aligned)
      - ARM - zahteva poravnanje
      - x86, RISC-V - ne zahtevaju, ali je pristup brži ako je poravnato
  - Adresni modovi
    - načini pristupanja memoriji
    - registarsko (register)
    - neposredno (immediate)
    - indeksno/indirektno (displacement)
    - relativno (u odnosu na programski brojač)
    - sa automatskim uvećanjem/umanjenjem
    - kombinacije (opšti format adresiranja x86)

- Arhitektura naredbi (ISA - instruction set architecture)
  - Tipovi i veličine operanada
    - 8, 16, 32, 64, 128 bita za celobrojne podatke
    - 32, 64, 80 bita za pokretni zarez
  - Naredbe
    - prenosa podataka
    - aritmetičke
    - logičke
    - upravljačke
    - systemske
    - ostale

- Arhitektura naredbi (ISA - instruction set architecture)
  - Naredbe
    - upravljačke
      - uslovni skokovi
        - testiranje sadržaja registara - RISC-V
        - testiranje posebnih uslovnih bita - x86, ARM
      - bezuslovni skokovi
      - poziv i povratak iz potprograma/prekida
        - korišćenje steka
      - uglavnom relativno adresiranje
  - Mašinski format naredbi (encoding)
    - dosta zavisi od broja registara i broja i komplikovanosti načina adresiranja
    - fiksna dužina - ARM, RISC-V
      - brže dekodiranje
    - promenljiva dužina - x86
      - kraći kod

- Implementacija računara
  - organizacija (mikroarhitektura)
    - dizajniranje na visokom nivou
      - memorijski podsistem
      - memorijska sabirnica
      - interna struktura procesora
        - keširanje
        - pipeline
      - ...
    - ista arhitektura naredbi može imati više organizacija
      - Intel i AMD x86
    - multiprocesorski mikroprocesor -> multicore
  - hardver
    - detaljan dizajn logičkih kola (na nivou tranzistora)
    - ista arhitektura naredbi i ista organizacija može imati više hardverskih implementacija
      - Intel Core i Xeon procesori

- Tehnološki napredak

- Integrirana logička kola

- Murov zakon više ne važi, broj tranzistora se povećava, ali se brzina povećavanja značajno smanjila i očekuje se da će se i dalje smanjivati

- DRAM

- Brzina rasta kapaciteta se drastično smanjila, ranije je bilo učetvorostručavanje svake 3 godine
    - 8Gbit čipovi - 2014, 16Gbit - 2018, 32Gbit - ????

- FLASH (SSD)

- Značajan rast kapaciteta u poslednje vreme, trenutno 50-60% godišnje; 10-tak puta jeftinije od DRAM

- HDD

- Ranije se kapacitet povećavao 40-60% godišnje, sada je to na nivou 5%
    - Stiglo se do granica i gustine zapisa po ploči i broja ploča
    - 10-tak puta jeftiniji od SSD

- Razvoj performansi računara
  - Propusna moć (bandwidth, throughput) - ukupna količina posla odrađena u jedinici vremena
    - MB/s za disk transfer, na primer
  - Odziv (latency, response time) - vreme između starovanja i završetka zadatka
    - broj ms za prenos fajla, na primer
  - Performanse su glavna karakteristika procesora i mrežne opreme
  - Kapacitet je generalno bitniji od brzine za memoriju
  - Propusna moć daleko više raste od poboljšanja u odzivu



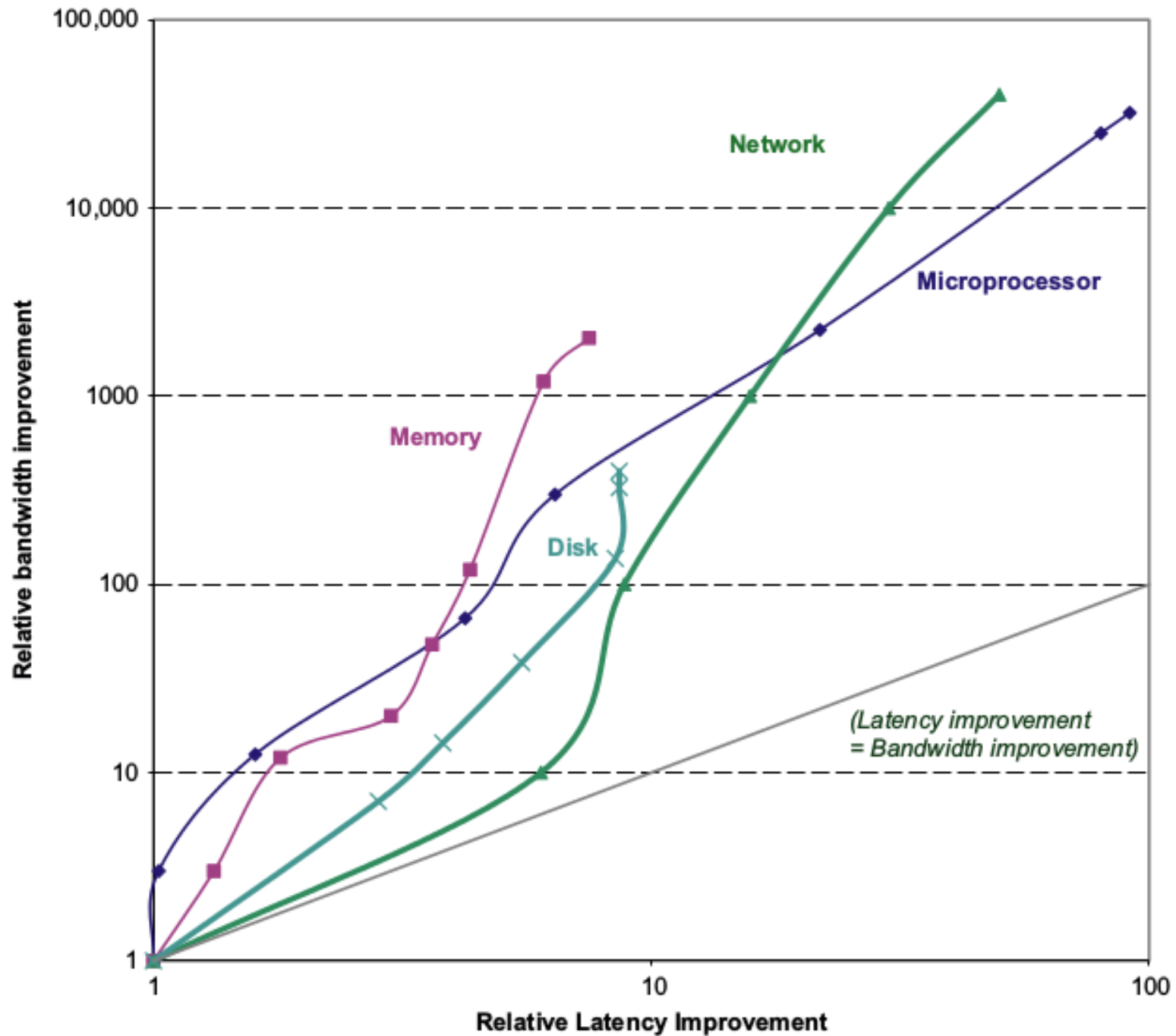
# • Razvoj performansi računara

| Microprocessor              | 16-Bit<br>address/<br>bus,<br>microcoded | 32-Bit<br>address/<br>bus,<br>microcoded | 5-Stage<br>pipeline,<br>on-chip I & D<br>caches, FPU | 2-Way<br>superscalar,<br>64-bit bus | Out-of-order<br>3-way<br>superscalar | Out-of-order<br>superpipelined,<br>on-chip L2<br>cache | Multicore<br>OOO 4-way<br>on chip L3<br>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<br>DRAM                        | Fast page<br>mode DRAM                               | Fast page<br>mode DRAM              | Synchronous<br>DRAM                  | Double data<br>rate SDRAM                              | DDR4<br>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   |

- Razvoj performansi računara

|                           |                       |                    |                    |                     |                      |                        |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| 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 (μs)              | 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<br>94145-36 | Seagate<br>ST41600 | Seagate<br>ST15150 | Seagate<br>ST39102  | Seagate<br>ST373453  | Seagate<br>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                    |

- Razvoj performansi računara



- Razvoj performansi računara
  - veličina i brzina tranzistora i vodova
    - Procesi proizvodnje integrisanih kola su karakterisani najmanjom dimenzijom pojedinačnih elemenata
    - 1971 - 10 $\mu$ m, 2016 - 0.016 $\mu$ m = 16nm
    - Danas 14nm, 10nm, radi se na 7nm i 4nm
    - Veća gustina tranzistora -> više mogućnosti iz iste površine
    - Manje dimenzije -> niži radni napon
    - Ranije se povećanje gustine najviše trošilo na broj bita u arhitekturi (8->16->32->64) i povećanje mogućnosti, danas se najviše troši na povećanje broja jezgara i keša
    - Manji vodovi -> veća kapacitivnost i otpornost po jedinici dužine (na kapacitivnost utiče još mnogo faktora) -> veće kašnjenje signala po jedinici dužine
    - Kašnjenje signala u vodovima je trenutno veći problem nego povećanje brzine tranzistora
    - Još veći problem je disipacija toplote