

Evolucioni 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, 16, 32...
 - 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

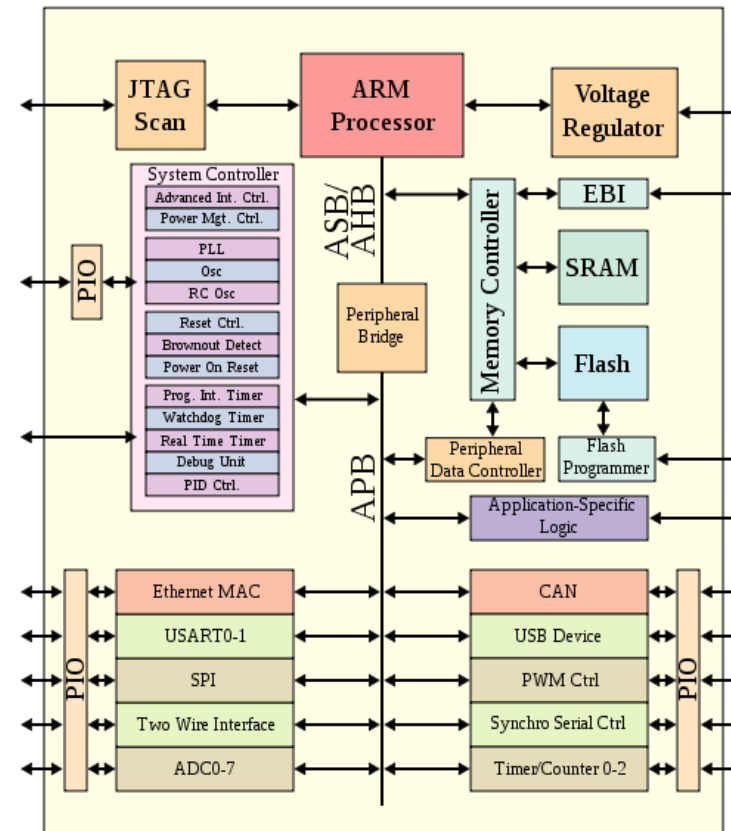
- Istorijat ARM procesora
 - Acorn Computers
 - 1989. A3000:ARM2
 - 32-bitni procesor
 - 32-bitna data magistrala
 - 26-bitni adresni prostor
 - 1991. A5000
 - 1992. A3010, A3020, A7000: ARM250, ARM3
 - 1994. RISC PC: ARM3, ARM4
 - 1990. izdvajanje ARM Holdings
 - 1992. ARM6 (saradnja sa Apple-om)
 - 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 350 milijardi ARM procesora proizvedenih do 2026.



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

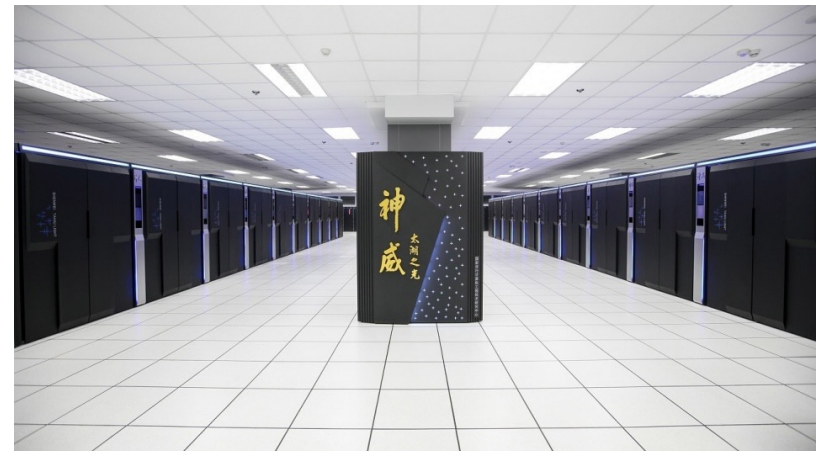
- Povećanje broja jezgara
 - 3D proračuni se mogu dobro paralelizovati
- Upotreba za generalne proračune – GPGPU (engl. *General-Purpose computing on Graphics Processing Units*), poznato i kao GPU Computing
 - 2007. NVidia CUDA 1.0 (Compute Unified Device Architecture)
 - 2008. otvoreni standard OpenCL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



Arhitektura računara IV generacije

Super-računari

- Top500 (www.top500.org) i Green500 (www.top500.org/green500)
- Najbrži super-računar (2025): El Capitan
- 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:
 - 4, 8, 10-jezgarni procesori
 - više GB memorije
 - dominatno ARM procesori
 - dominatno Android/iOS

symbian
OS



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

Processor

- 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 broja 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 = l/v vreme ciklusa

Sabirnica

- propusnost

Disk

- veličina bloka
- ukupan broj blokova
- srednje vreme pristupa
- propusnost = l/s 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!**

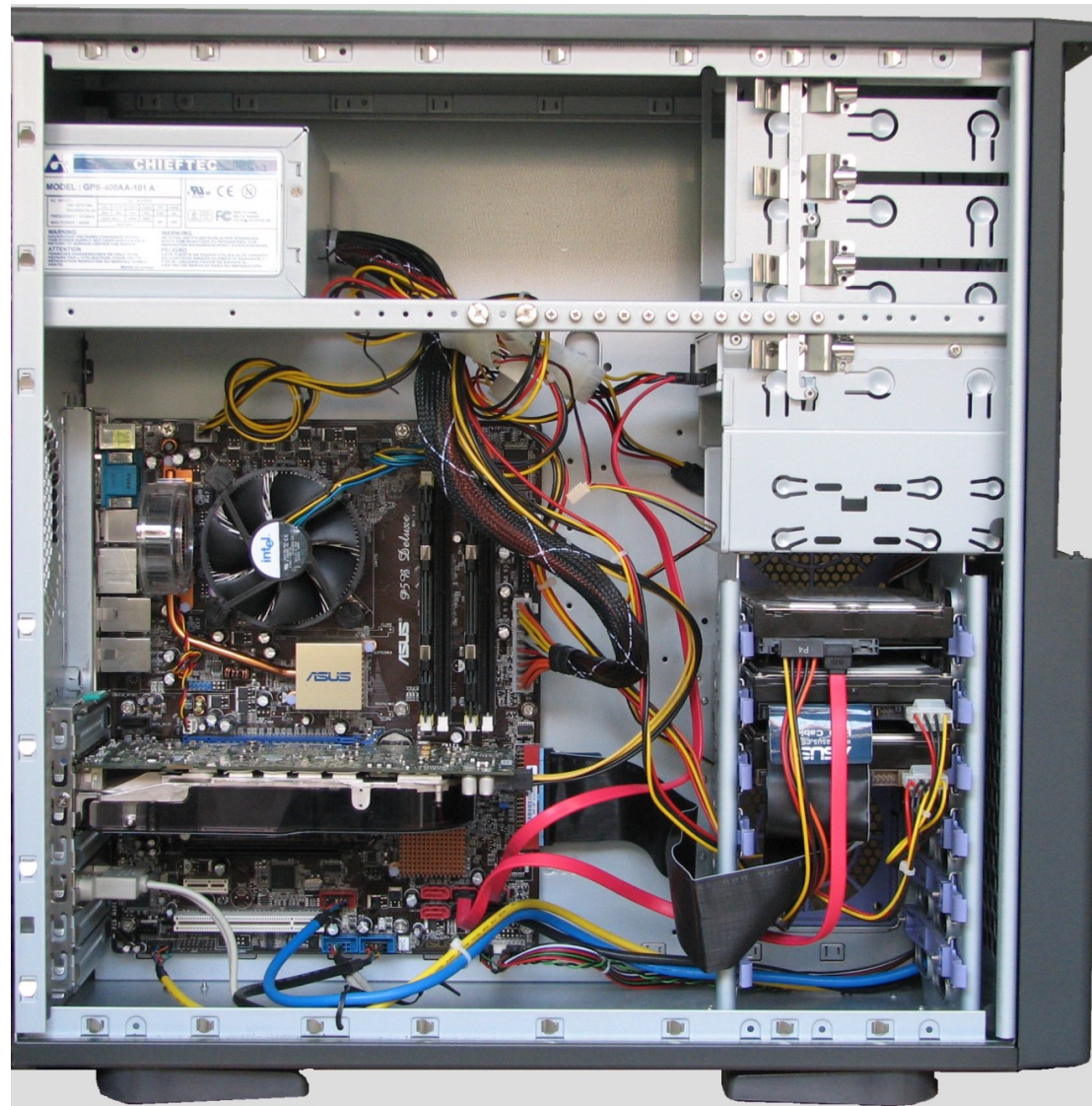
Procena osobina računara

Procena uspešnosti na osnovu celine

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

Savremeni računarski sistemi

Savremeni personalni računar



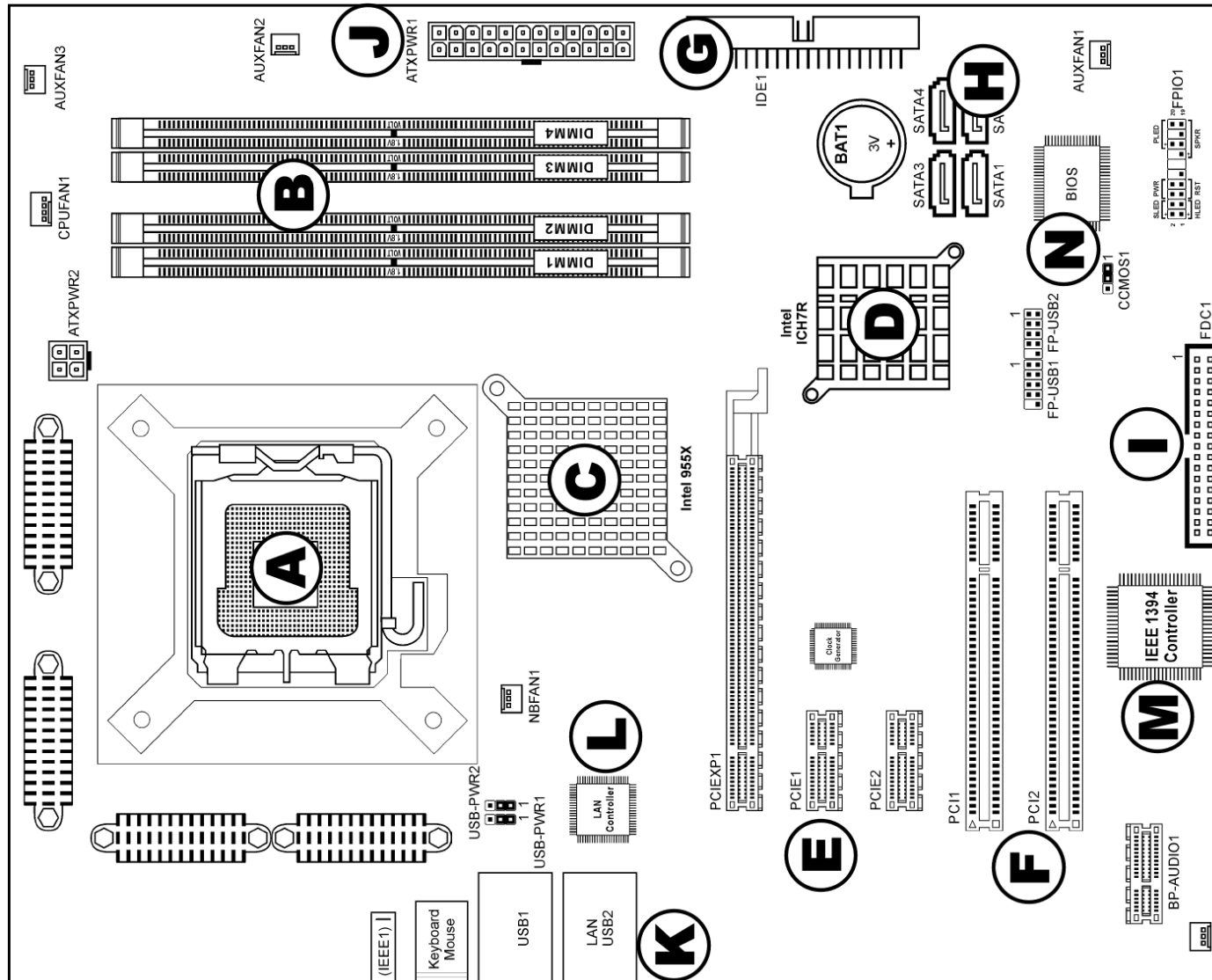
Osnovni delovi

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

Procesor

- Najznačajniji AMD i Intel x86_64, ARM, Apple Silicon, RISC V
 - Sve više dominiraju mobilni ARM-bazirani računari
- Bitne karakteristike
 - Tip, revizija i broj jezgara
 - Podržani skup proširenih naredbi (SSE, SSE II, 3DNow)
 - Tip podnožija (engl. *socket*)
 - Frekvencija rada
 - Količina disipirane toplote
- Dual-core, quad-core, hex-core, octa-core procesori, mnogojezgarni (32 jezgara i više)
- 64-bitni procesori (prvi x86_64 AMD Opteron)

Matična ploča



Matična ploča

- Osnovni delovi:
 - Podnožje za procesor
 - Podnožija 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)

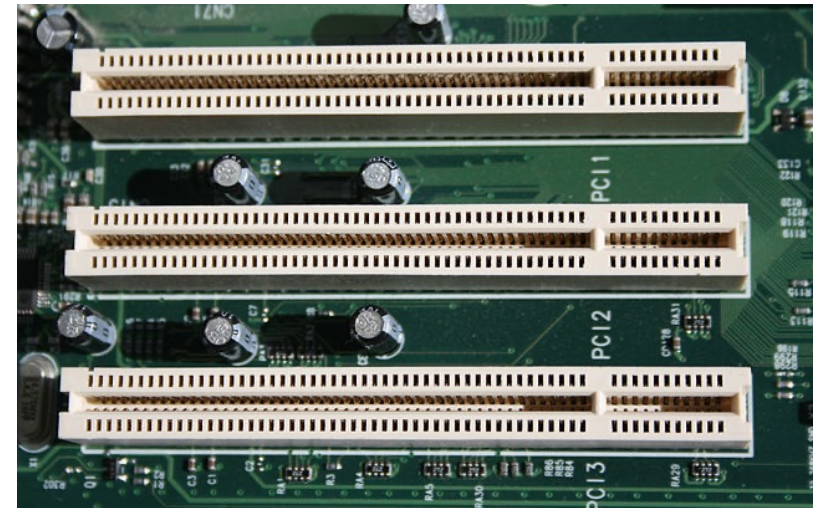
- Severni vezni čip (engl. *northbridge*)
 - Memorijski kontroler
 - Kontroler magistrale ka procesoru
 - Kontroler magistrale za grafički adapter
- Južni vezni čip (engl. *southbridge*)
 - Kontroler U/I magistrale
 - USB kontroler
 - Kontroler magistrale za masovnu memoriju
 - Veza sa BIOS čipom, tastaturom 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 perifernih 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 66 MHz
- Konektori sa 124 pina
- Brzine rada 1× do 8×
- Danas istisnuta od strane PCIe, samo na prilično starim pločama

AGP
**ACCELERATED
GRAPHICS PORT**



PCIe magistrala

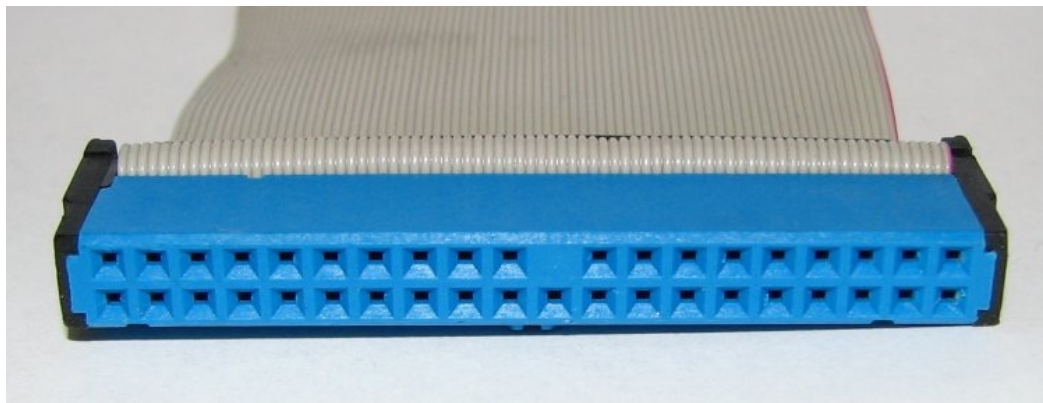


- Hardver
 - Serijska veza sa PCIe karticama
 - Hot-plug
 - Jednostruka ili višestruka veza (1× do 32×)
 - Više tipova konektora (1× do 32×)
- Upotreba
 - Grafičke kartice
 - SLI (engl. *Scalable Link Interface*, nVidia), odnosno *CrossFire* (ATI)

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 koegzistirala sa SATA magistralom

aT**a**
BUS



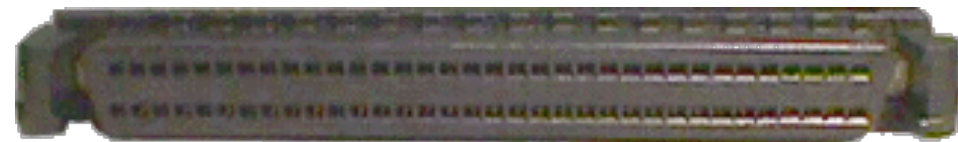
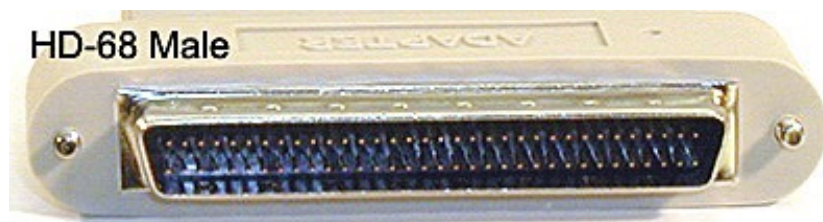
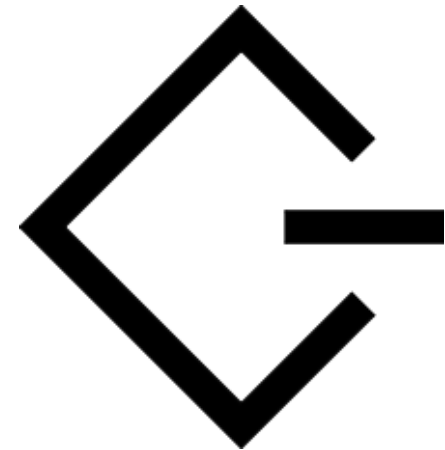
SATA magistrala

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



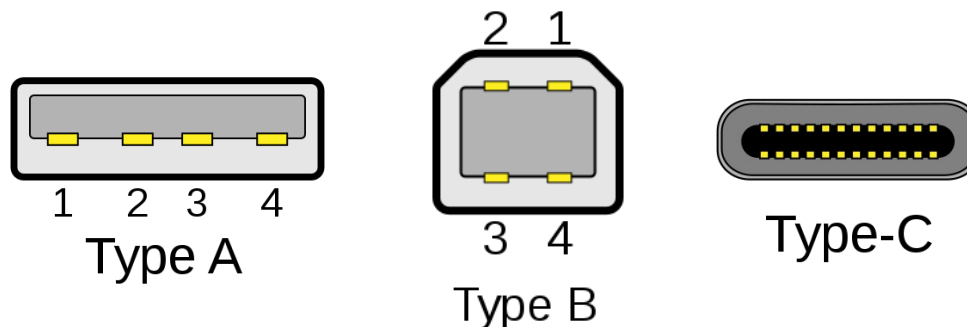
SCSI magistrala

- 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 480 Mb/s
- USB 3.0 – preko 3 Gb/s
- USB 4.0 – do 120 Gb/s



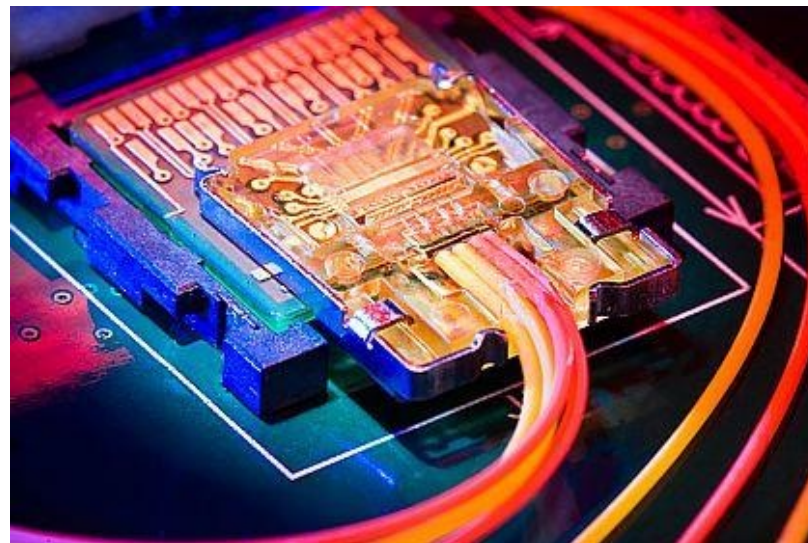
FireWire magistrala

- 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



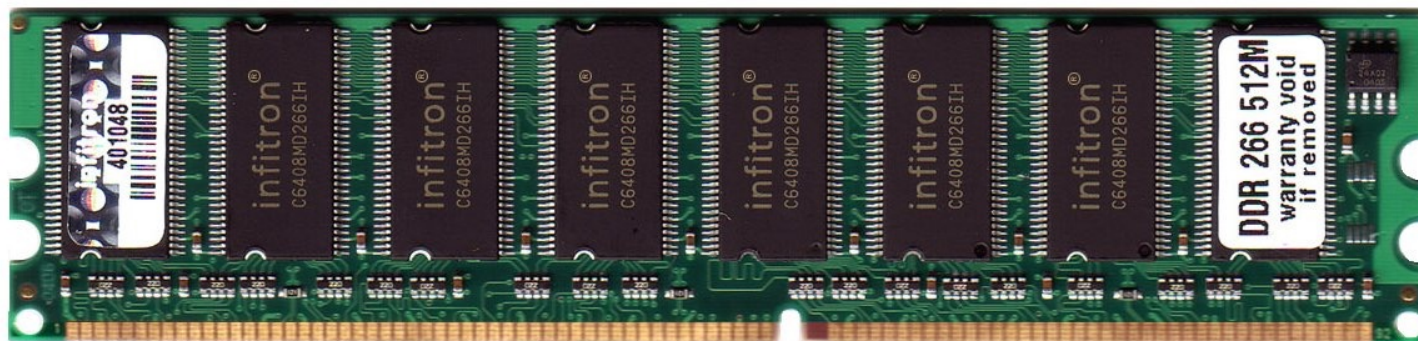
Thunderbolt magistrala

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



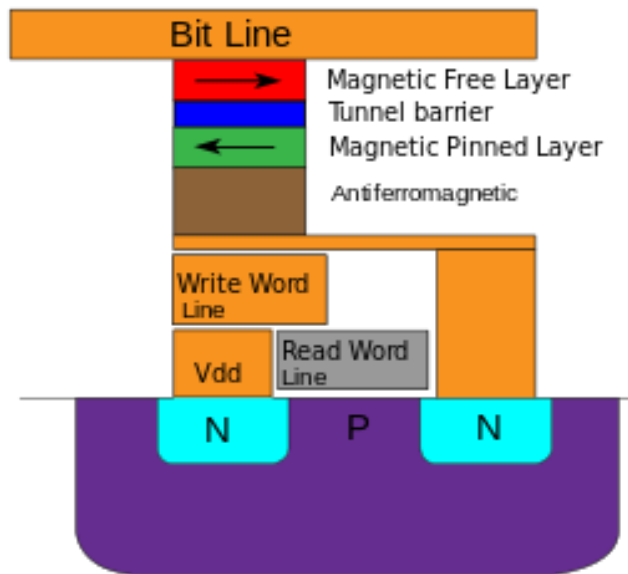
Radna memorija

- 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 i DDR5 – dalja unapređenja
- SODIMM (engl. *Small Outline DIMM*) za laptopove, GDDR5 za grafičke karte



Radna memorija

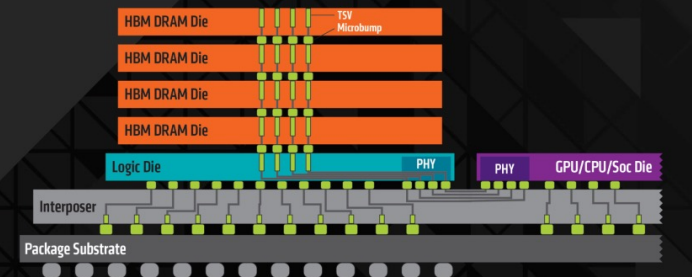
- Non-volatile memory (MRAM, F-RAM, ...)
- AMD/Hynix HBM (High Bandwidth Memory)



HIGH-BANDWIDTH MEMORY DRAM BUILT FOR AN INTERPOSER

AMD

- ▲ A new type of memory chip with low power consumption and an ultra-wide bus width
- ▲ Many of those chips stacked vertically like floors in a skyscraper
- ▲ New interconnects, called “through-silicon vias” (TSVs) and “ μ bumps”, connect one DRAM chip to the next
- ▲ TSVs and μ bumps also used to connect the SoC/GPU to the interposer
- ▲ AMD and SK Hynix partnered to define and develop the first complete specification and prototype for HBM



Grafički adapter

- PCIe magistrala
- DDR/GDDR memorija, više GB memorije (i do 32 GB)
- Veliki broj jezgara, mogućnost za GPGPU
- CUDA , OpenCL
- Ugradnja grafičkog adaptera 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

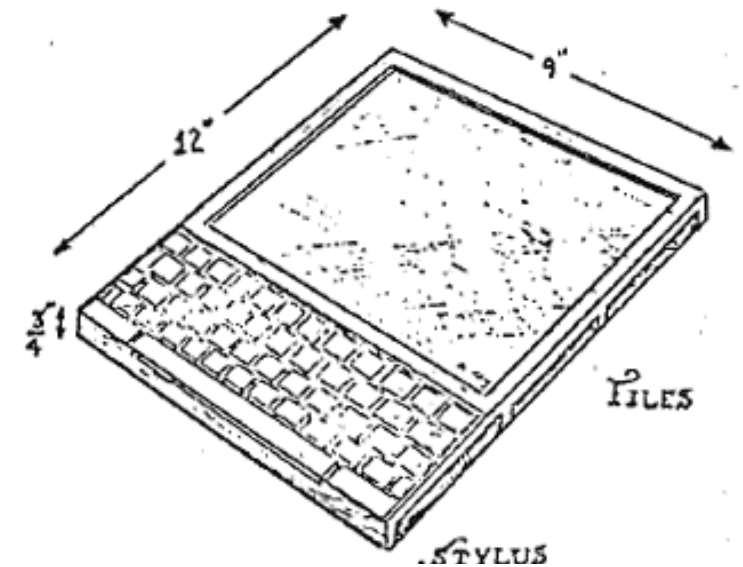
- **ATX** (engl. *Advanced Technology eXtended*) napajanje
 - Snaga mora biti dovoljna za sve komponente
 - Mogućnost softverske kontrole
 - Komponentama daje jednosmernu struju (DC)
- **UPS** (engl. *Uninterruptible Power Supply*)
- **Hlađenje**
 - Sve bitnije komponente imaju sopstveno hlađenje (procesor, 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



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

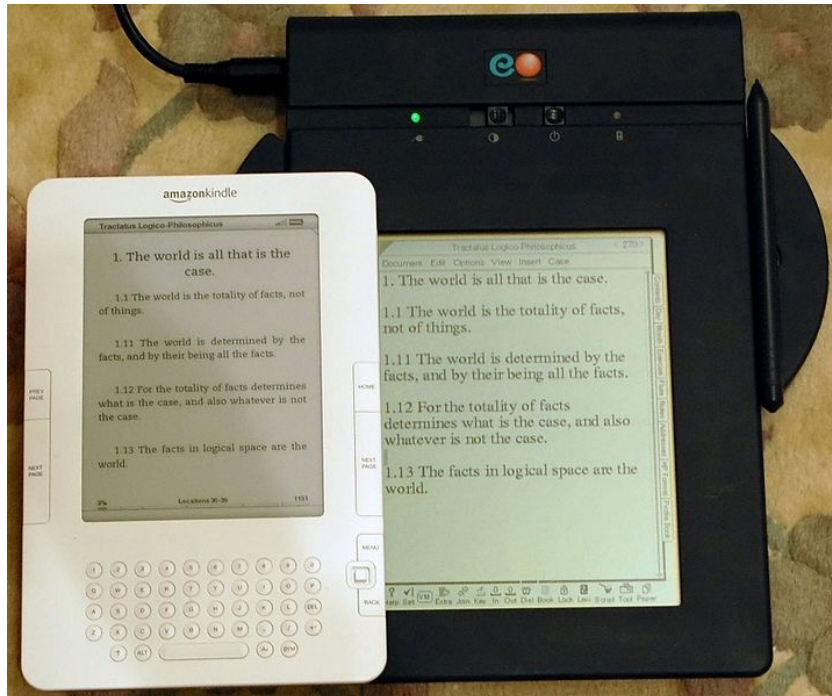


2007. Asus Eee PC netbook

- Prvi uspešan ultra-portable PC

Prenosni računari

1989. GRiDPad



1991.
EO Personal Communicator

Prenosni računari

1993. Apple Newton

1996. PalmPilot

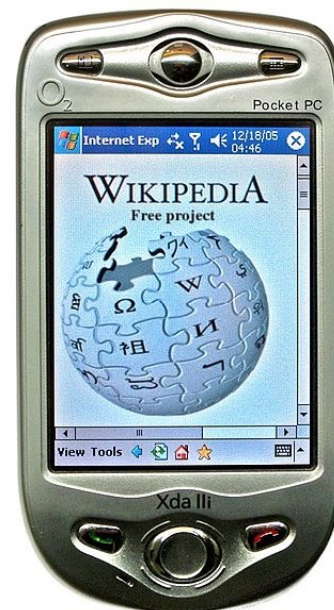
2000. MS Pocket PC

2007. iPhone (smartphone)

2010. iPad (tablet PC)

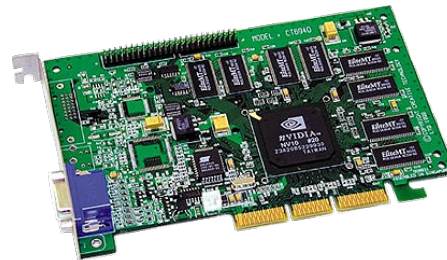


iPad

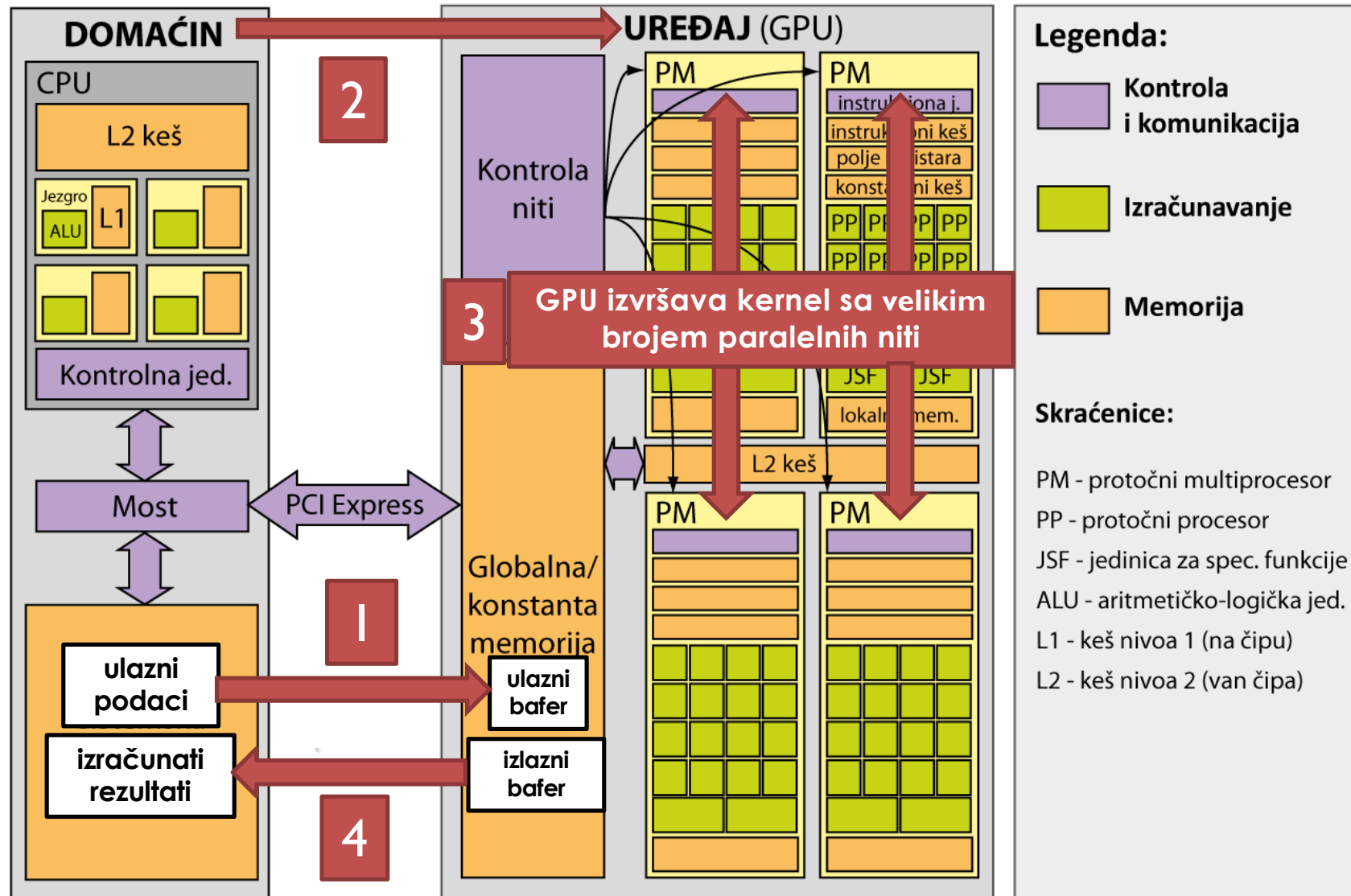


Grafički procesori

- **Grafičke procesne jedinice** (engl. *Graphics Processing Units – GPUs*) su postale standardni dodatak **centralnim procesnim jedinicama** (engl. *Central Processing Units – CPUs*) – oblast **GPU computing** ili **General-purpose computing on GPUs (GPGPU)**
- [Evolucija arhitekture GPU](#) od protočnog sistema sa fiksnim funkcionalnostima (engl. *fixed-function pipeline*) do **programabilne masivno-paralelne platforme**
- Commodore Amiga – 1985.
- NVidia GeForce 256 – 1999.
- Industrija video igara dovela je do brze evolucije GPU
- NVidia CUDA se pojavila 2007.
- Deep learning – “big bang” se desio 2009.



Izvršavanje programa na GPU



Primene paralelnog računarstva

- **Složena i obimna izračunavanja**
- **Obrada velike količine podataka** (oblasti nauke o podacima (engl. *data science*) i sistema za rad sa velikim količinama podataka (engl. *big data*))
 - Internet (veb pretraživači), genetika (DNK), medicinske i astronomske slike, senzori (engl. *Internet-of-Things*, IoT)
- **Simulacija**
- **Vizuelizacija**
- Svi prethodno opisani problemi zahtevaju znatne resurse za izračunavanja, vode nas do oblasti **računarstva visokih performansi** (engl. *High Performance Computing*)
 - Klasteri, data centri, super-računari...
 - Programiranje super-računara: ssh protokol za komunikaciju, MPI + OpenMP/CUDA/OpenACC

Primene paralelnog računarstva

Naučna izračunavanja (engl. *scientific computing*)

- Klima i vremenska prognoza, genetika, astrofizika, okeanografija, seizmologija, farmacija, ekonomija i finansije, ...

Veštačka inteligencija (engl. *artificial intelligence*)

- Mašinsko učenje, duboke neuronske mreže, ...

Inženjerstvo

- Projektovanje vozila, letelica i mašina, razvoj novih materijala, ...

Energetika

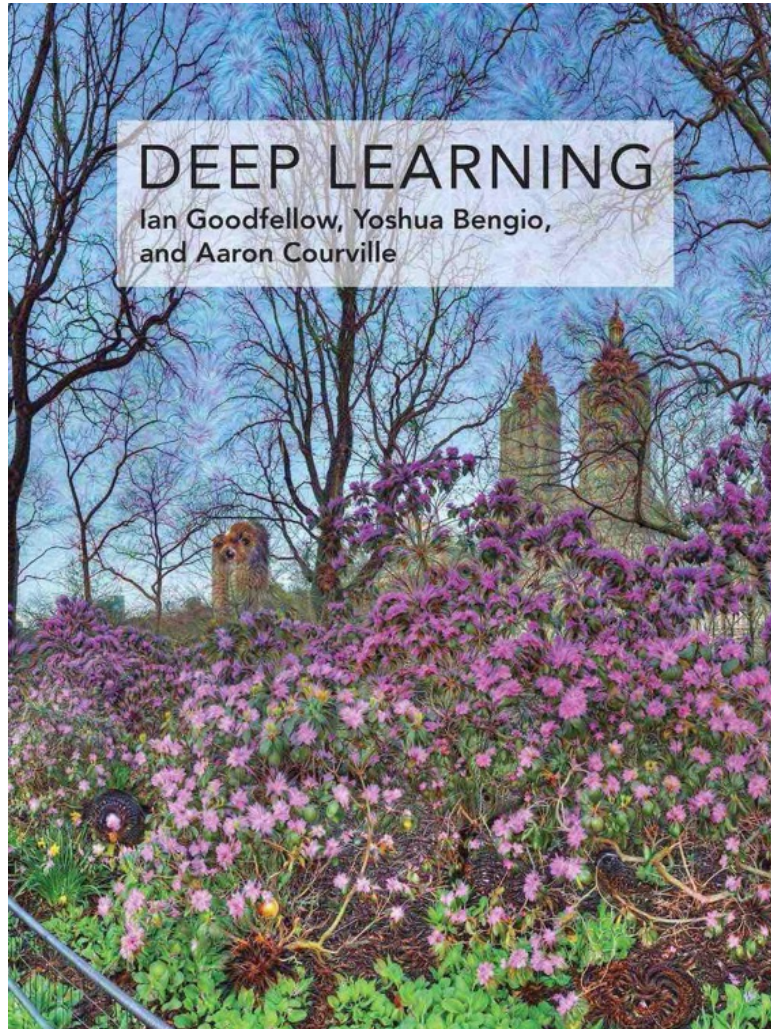
- Obnovljivi izvori energije, istraživanje tla, ...

Medicina

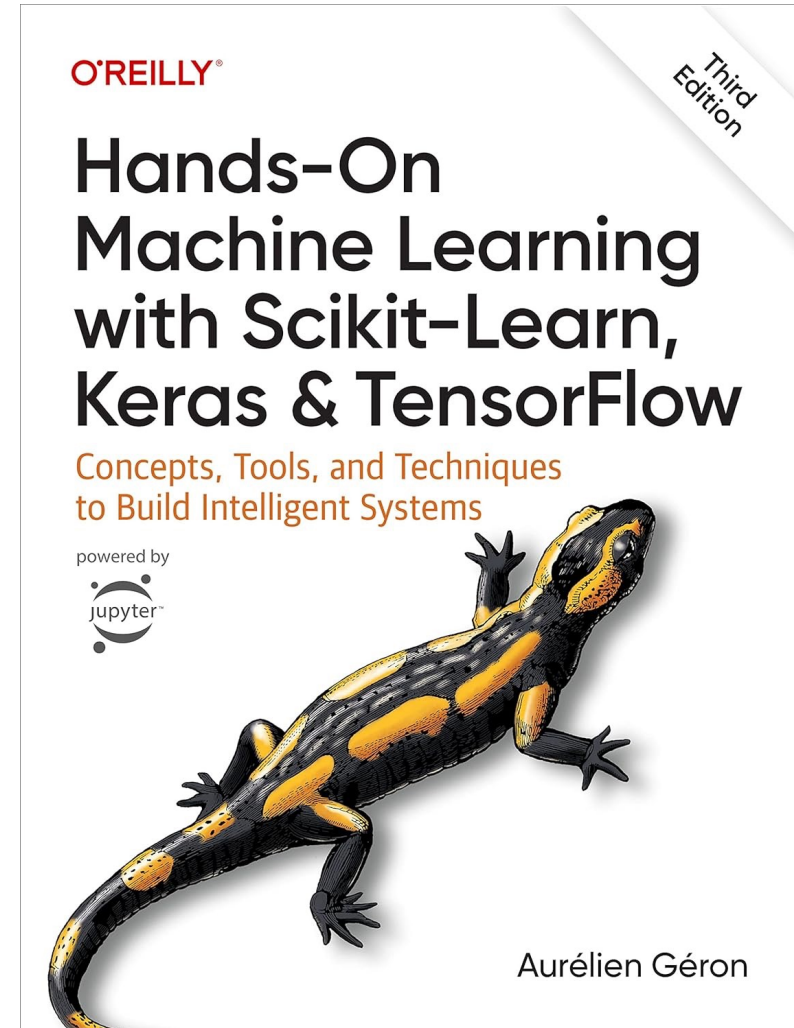
- Obrada medicinskih slika, ...



Preporučena literatura

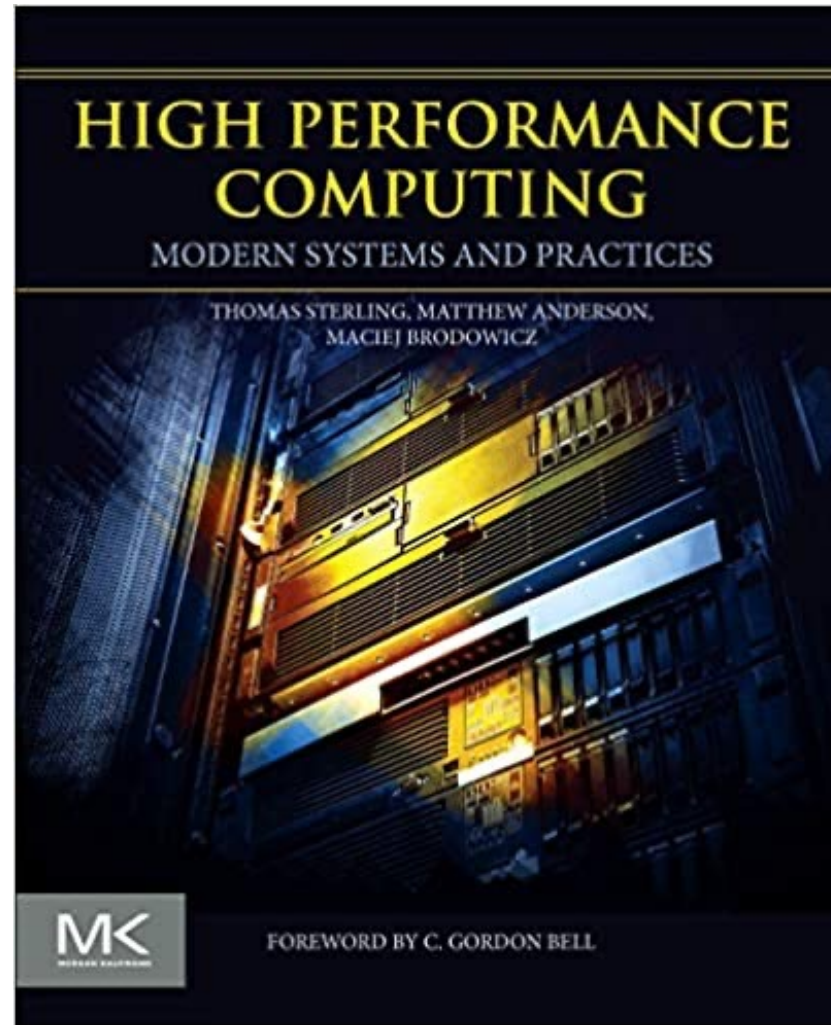


<https://www.deeplearningbook.org>



<https://www.oreilly.com/library/view/hands-on-machine-learning/9781098125967/>

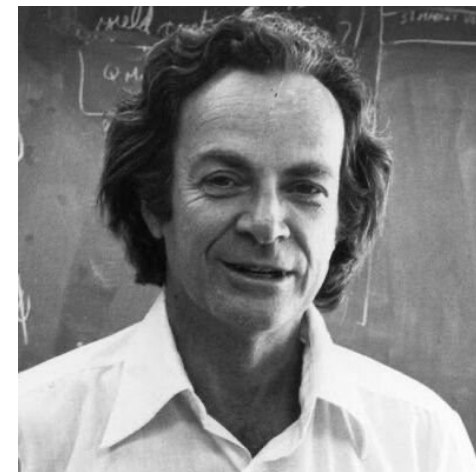
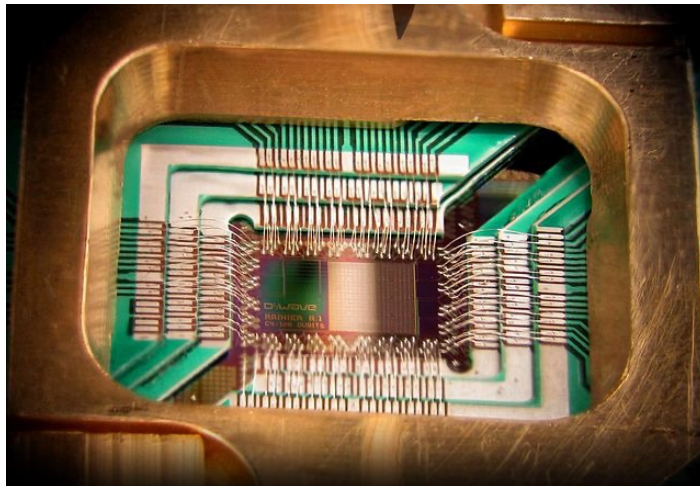
Preporučena literatura



<https://www.elsevier.com/books/high-performance-computing/sterling/978-0-12-420158-3>

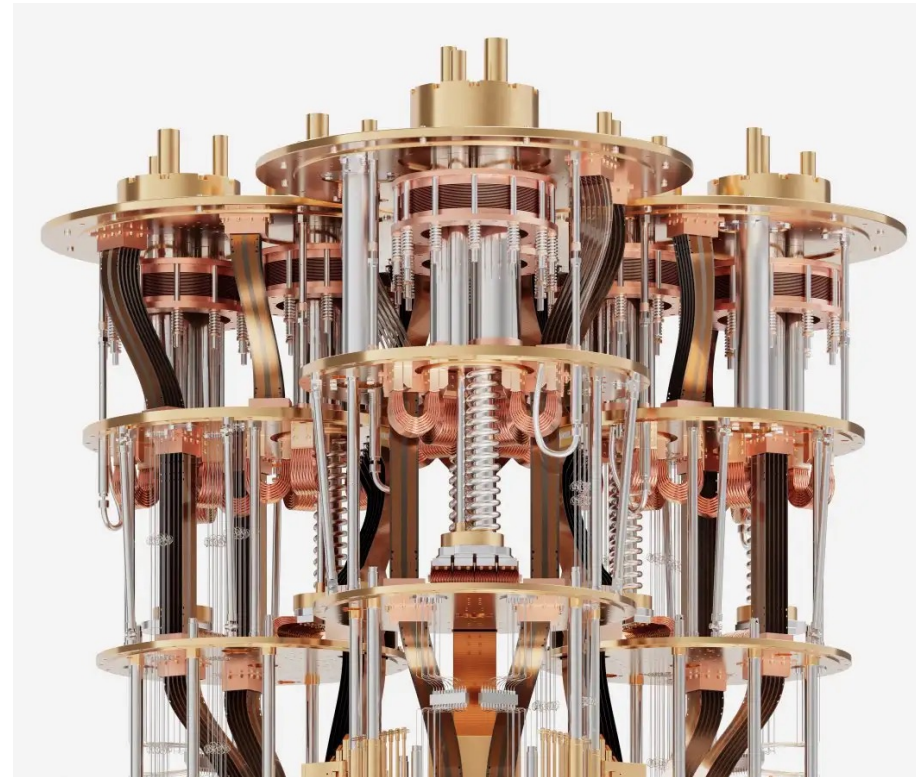
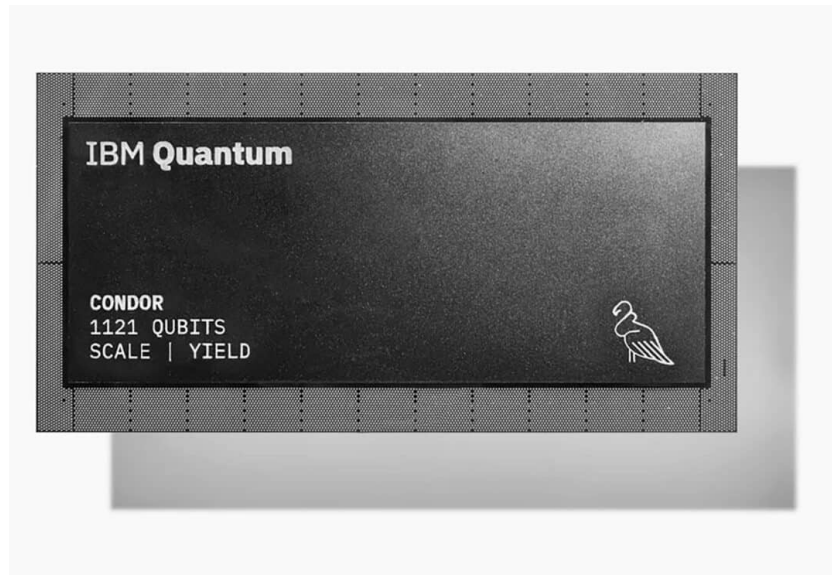
Kvantni računari

- 1959. Richard Feynman predavanje “*There’s Plenty of Room at the Bottom*” – mogućnost kvantnog računarstva, 1981. “*Simulating Physics with Computers*”
- Danas u aktivan razvoj uključeni IBM, Google, Intel, D-Wave
- 2017. D-Wave prodaje kvantne računare sa 2000 kubitom (engl. *qubit*), ali zasnovane na principu kvantnog čeličenja (engl. *quantum annealing*) specijalizovanom za probleme optimizacije
- 2023. IBM Condor sa 1121 kubitom, univerzalni kvantni računar, zasnovan na neutralnim atomima i superprovodnicima



Richard Feynman
(1918-1988)

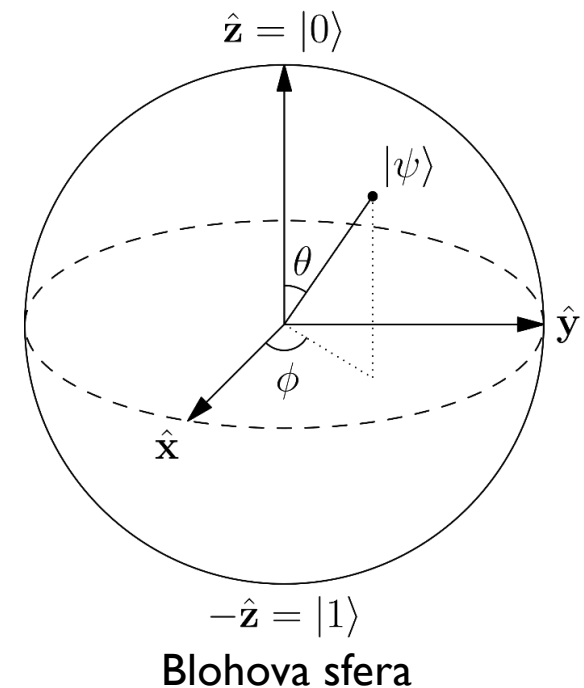
IBM Condor



Izvori: <https://postquantum.com/industry-news/ibm-condor/>,
<https://www.newscientist.com/article/2405789-ibms-condor-quantum-computer-has-more-than-1000-qubits/>

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** (Toffoli, Fredkin, Hadamard, Pauli, ...)
- **Šorov algoritam za faktorizaciju**
- **Groverov algoritam traženja**
- **Kvantna Furijeova transformacija**
- Januara 2019. IBM predstavio **komercijalni kvantni računar** – IBM Q System One
- Jezici: QASM, Qiskit (IBM), Cirq (Google), Q#...
- Quantum Computers Explained:
<https://www.youtube.com/watch?v=B3UINDUiwSA>



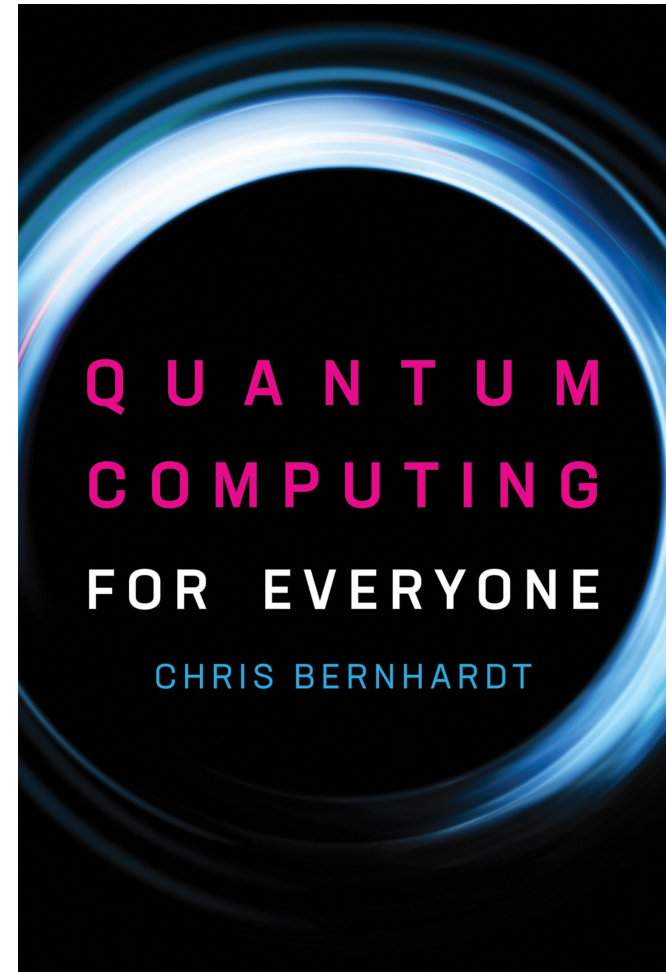
Preporučena literatura

Chris Bernhardt

*Quantum Computing
for Everyone*

2020

The MIT Press



Preporučena literatura – napredni nivo

Michael Nielsen,
Isaac Chuang

*Quantum Computation and
Quantum Information,
10th Anniversary Edition*

2011

Cambridge University Press

