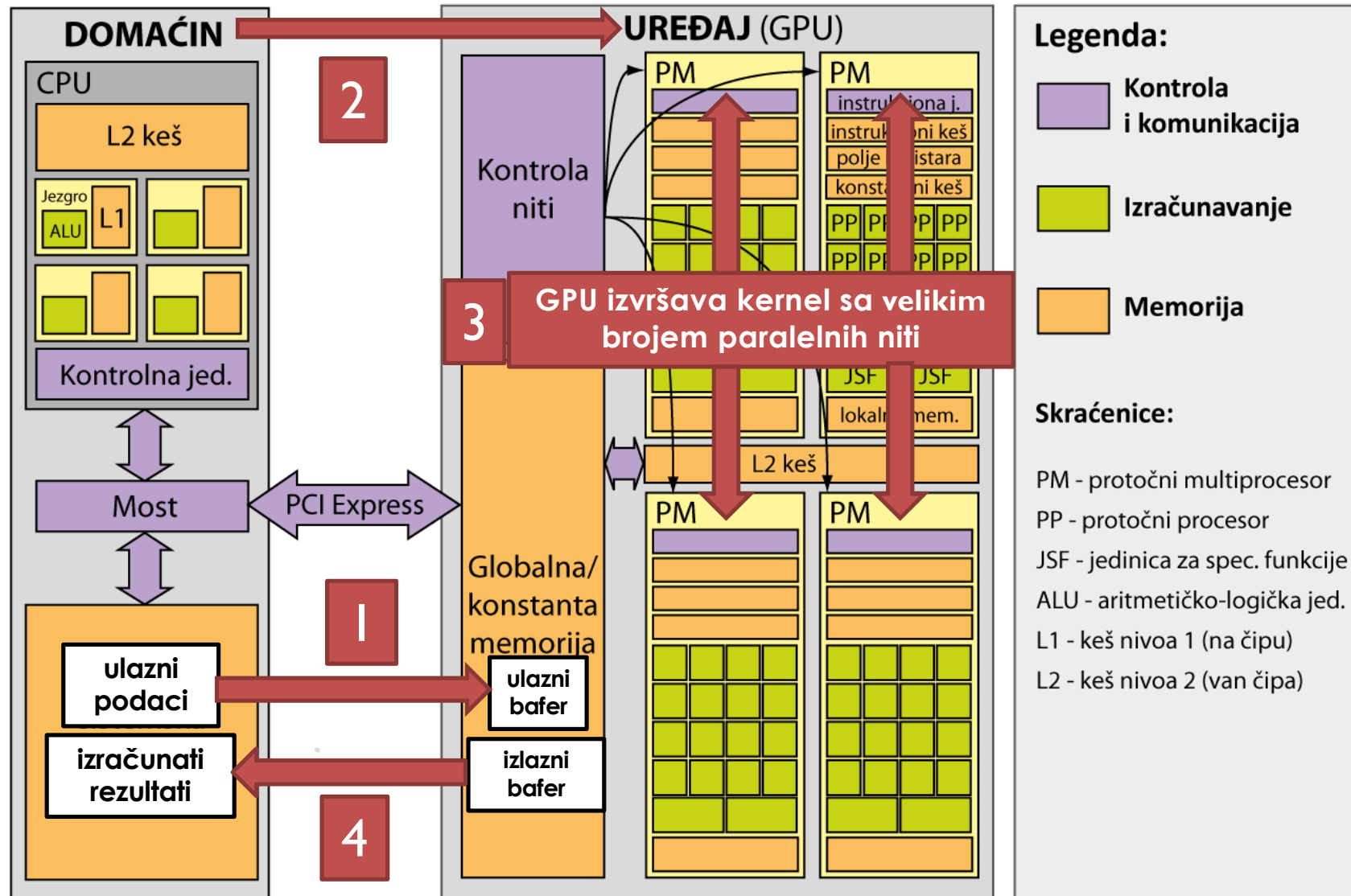


Evolucioni period arhitekture računara oko 1990. (nastavak)

Primer SIMD: GPU izračunavanja



Arhitektura računara IV generacije

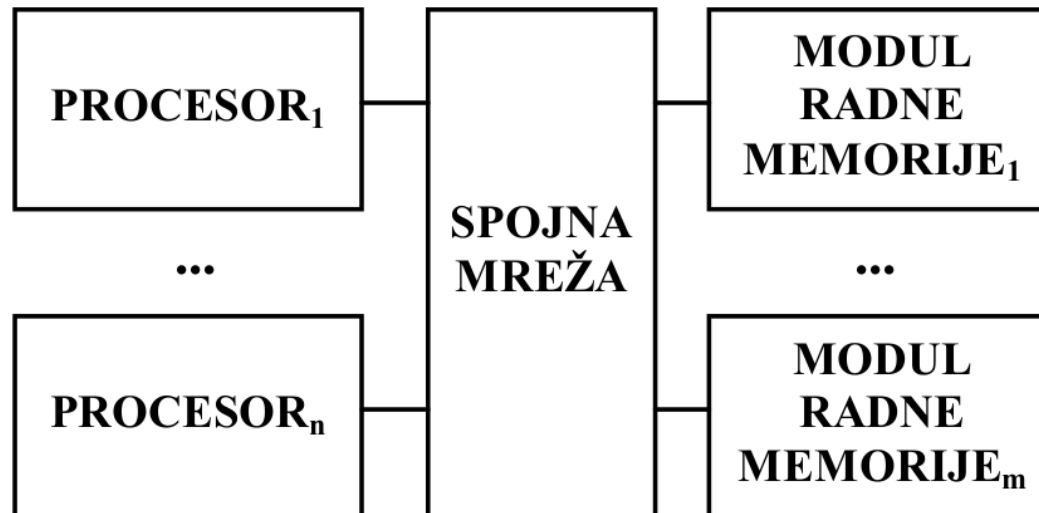
Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

- **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

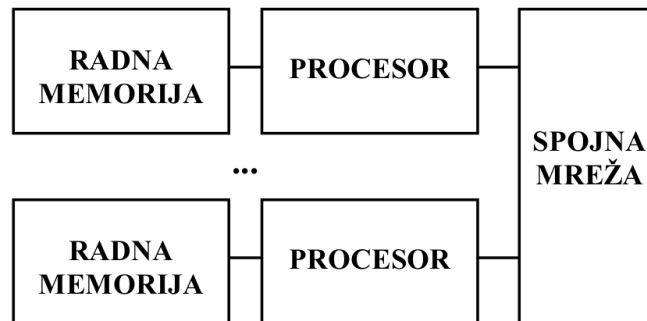
- **MIMD računar**
 - **Multiprocesor** – zajednička memorija od nezavisnih modula
 - brzina pristupa zavisi od fizičke udaljenosti procesora i modula - čvrsto spregnuta organizacija (engl. *tightly coupled*)
 - lakše programiranje jer je svakom procesoru sve dostupno
 - mali broj procesora



Arhitektura računara IV generacije

Klasifikacija računara – Flynnova taksonomija

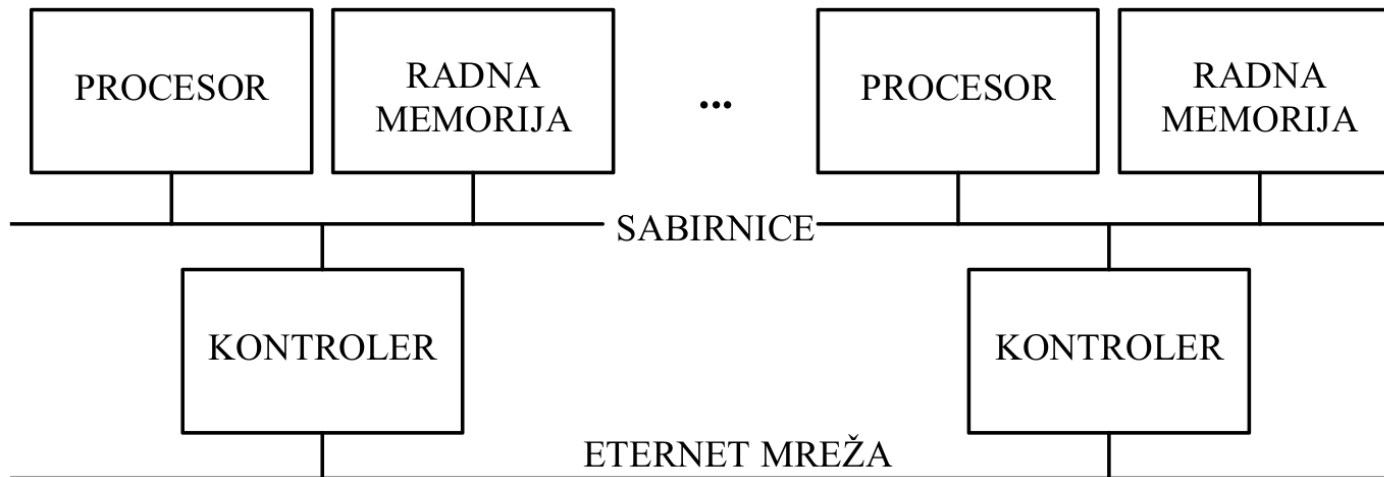
- **MIMD računar**
 - **Multiprocesor** – NUMA (engl. *Non-Uniform Memory Access*)
 - svaki procesor ima svoj memorisjki modul
 - može pristupiti drugim modulima, ali sporije
 - neophodno poznavanje organizacije
 - **Multiračunar** – razmena poruka (engl. *message passing*)
 - direktan pristup samo sopstvenoj 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 kompajlera
- 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

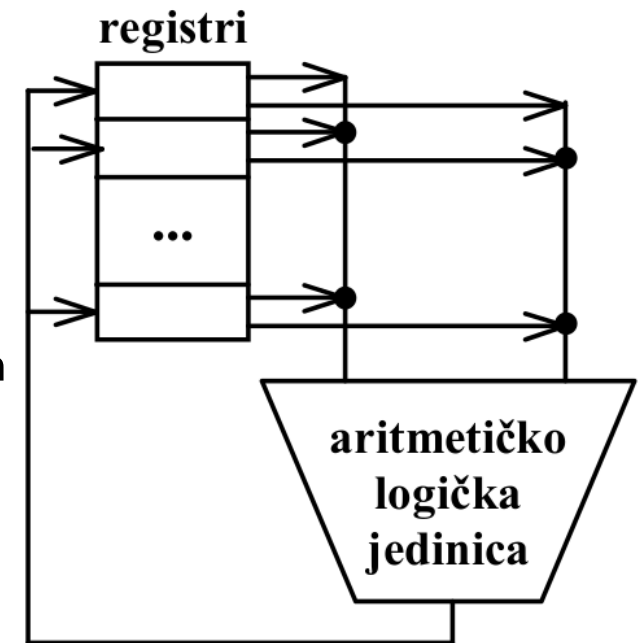
RISC procesori

- Realizacija zauzima mnogo manje prostora od CISC
 - Proširenje adresnog prostora
 - 64-bitne arhitekture:
 - 1974. – CDC Star-100
 - 1976. – Cray-1
 - 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 kompajlera
 - Direktno odgovoran za ubrzanje rada
 - Što dugotrajnije preklapanje
 - razdvajanje međusobno zavisnih naredbi
 - statičko raspoređivanje
 - Nepostojanje status registra
 - veća sloboda kompajlera
 - 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
 - kompajler 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 (*scoreboarding*)
 - ako naredbe samo koriste isti registar
 - korišćenje rezervnog registra (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 (interno 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
 - systemske 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

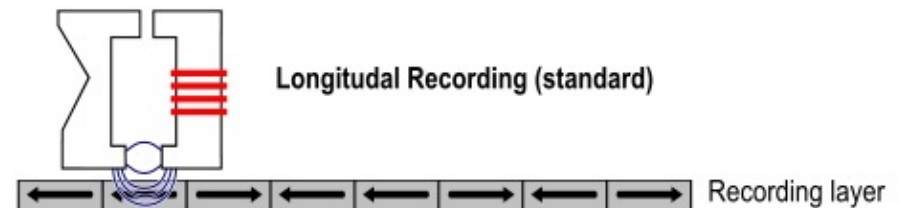
Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

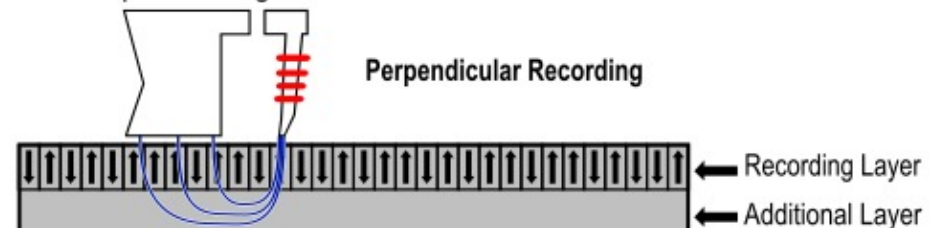
- Magnetni diskovi
- Kapacitet 60% godišnje
- Povećanje gustine, *perpendicular recording* (2005)



"Ring" writing element



"Monopole" writing element



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 spoljnim 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
 - *stripping*
 - 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
 - ugnježdjeni (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

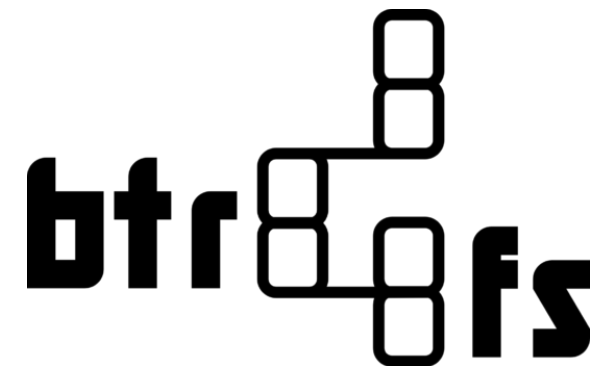


OpenZFS

Arhitektura računara IV generacije

Evolucija masovne memorije

- Btrfs – B-stablo fajl sistem (engl. *B-tree file system*)
 - Razvoj započeo 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*
 - Posедуje 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)



COMPACT
dISC

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

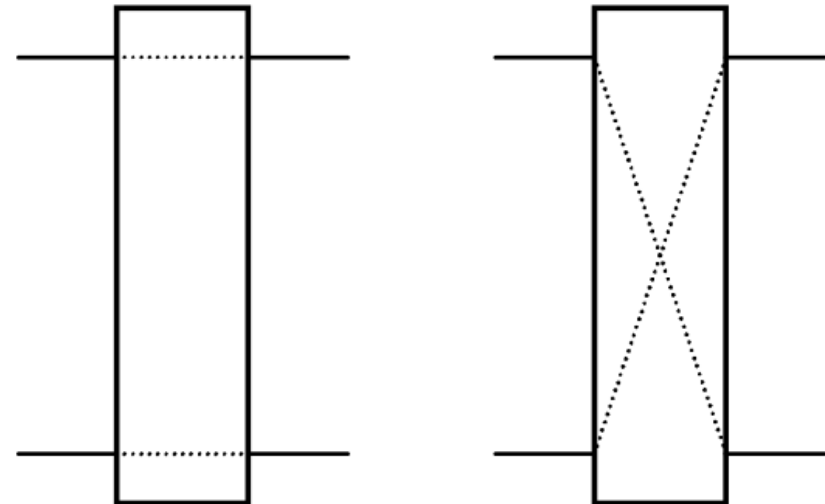
- Adresni prostor od 64 bita
 - Suviše velika tabela stranica
 - Za stranicu od 4 kB $\rightarrow 2^{52}$ elemenata
 - $2^{64} = 17179869184 \text{ GB} = 16777216 \text{ TB}$
 - 2^{52} elemenata, 8 bajta $\rightarrow 33554432 \text{ GB} = 32768 \text{ TB}$
 - **Invertovana tabela stranica**
 - broj elemenata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

000		
001		
010		
011		
100		
101		
110		
111		

Arhitektura računara IV generacije

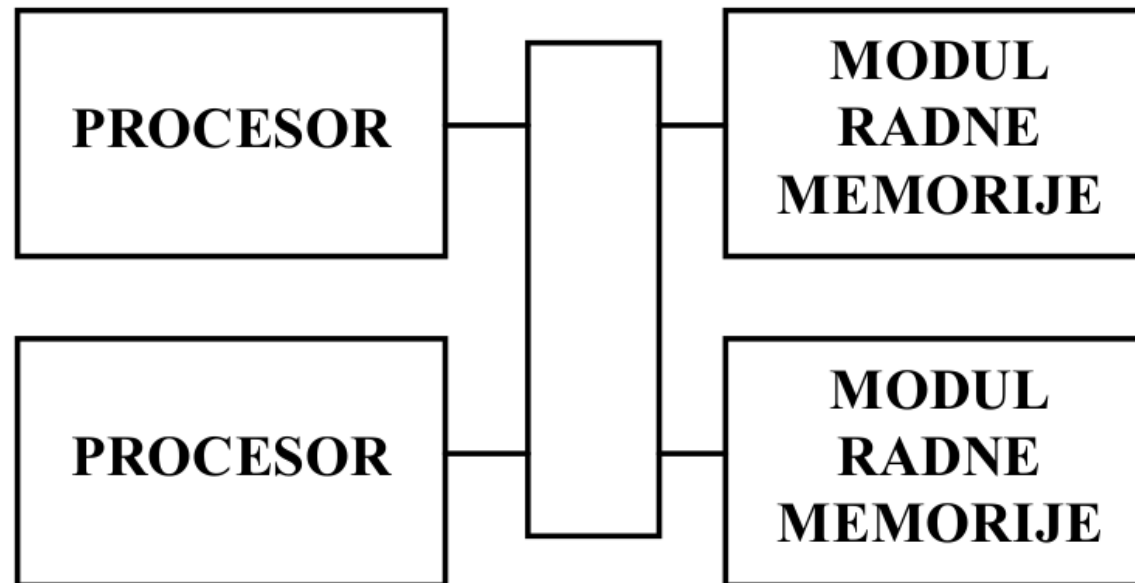
Spojne mreže

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



Arhitektura računara IV generacije

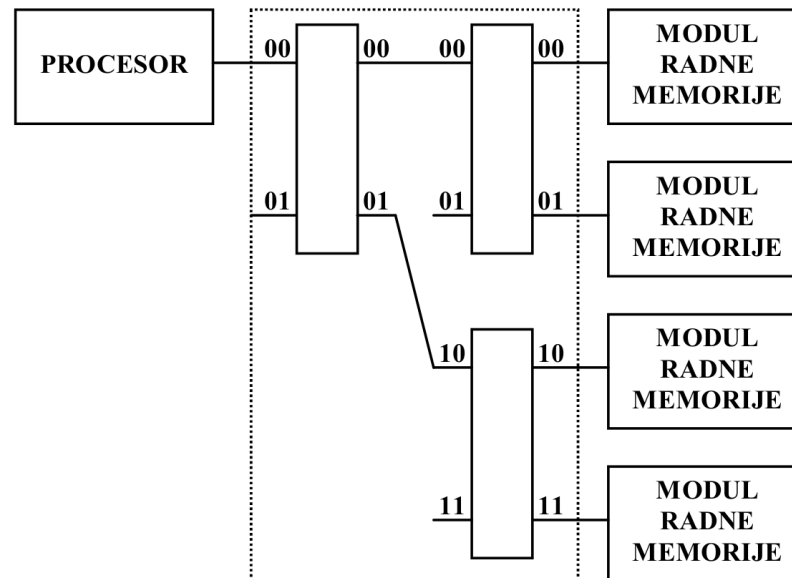
Spojne mreže



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

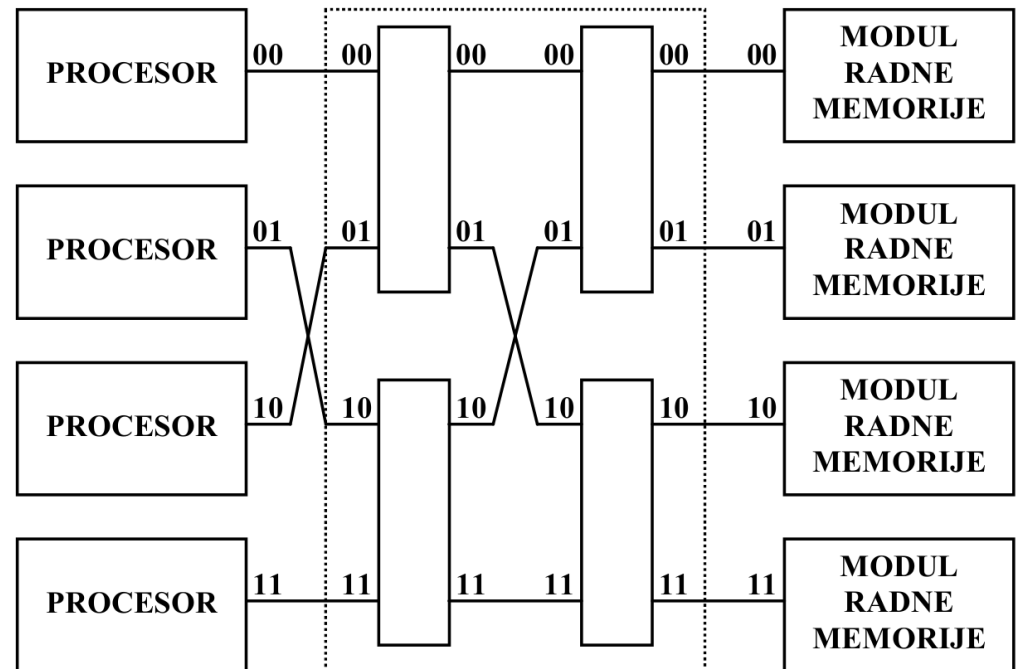
- **Višestepena prekidačka mreža**(engl. *multistage switching network*)
- Za više od 2 procesora/modula
- Binarna oznaka modula je deo poruke/adrese
- Prebacivanje prekidača na osnovu adrese



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

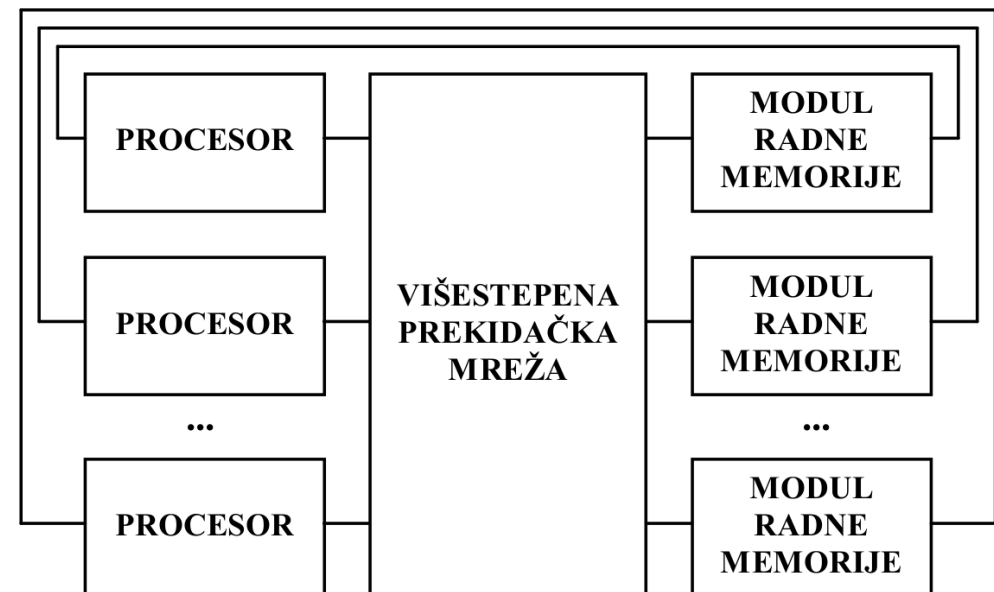
- Višestepena prekidačka mreža
 - Omega višestepena prekidačka mreža
 - istovremena veza 00/00, 01/01, ...
 - blokirajuća
 - Neblokirajuće



Arhitektura računara IV generacije

Spojne mreže

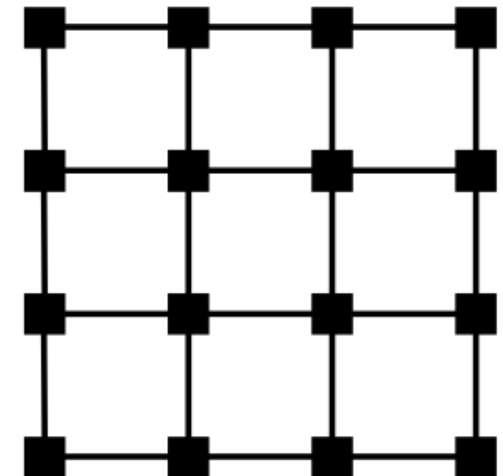
- Višestepena prekidačka mreža
 - prednost u odnosu na unakrsnu matricu?
 - mana?
- BBN Butterfly (sredina 1980-tih)
 - NUMA
 - 2/6 μ s
 - modul
 - 16 \times Motorola 68000
 - 16 \times 1MB
 - do 96 procesora



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
 - matične 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

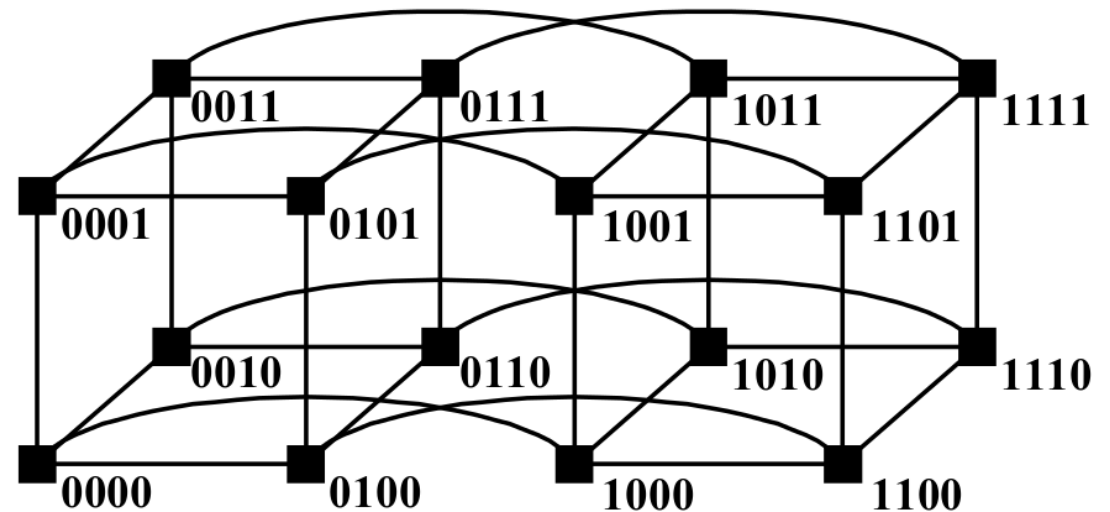
Spojne mreže

- Razmena poruka kod statičkih 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 statičkih mreža
 - 16 i više čvorova - hiprekocka
 - 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

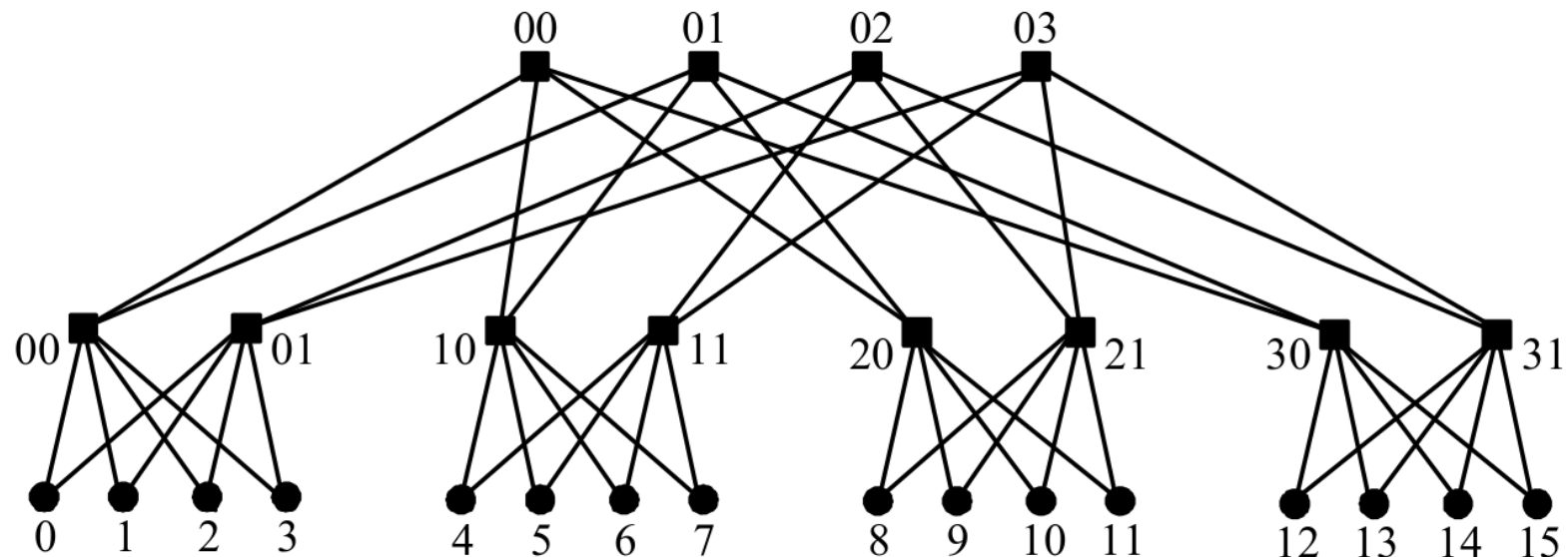
- Hiperkocka - kod SIMD i MIMD računara
 - *Intel Hypercube* ili *iPSC* (engl. *Intel Personal SuperComputer*) – sredina 1980-tih
 - multiračunar
 - modul – 5-dimenzionalna hiperkocka
 - 32 čvora
 - CPU Intel i80286
 - FPU
 - 512k memorije



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)); };
```

Evolucioni 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

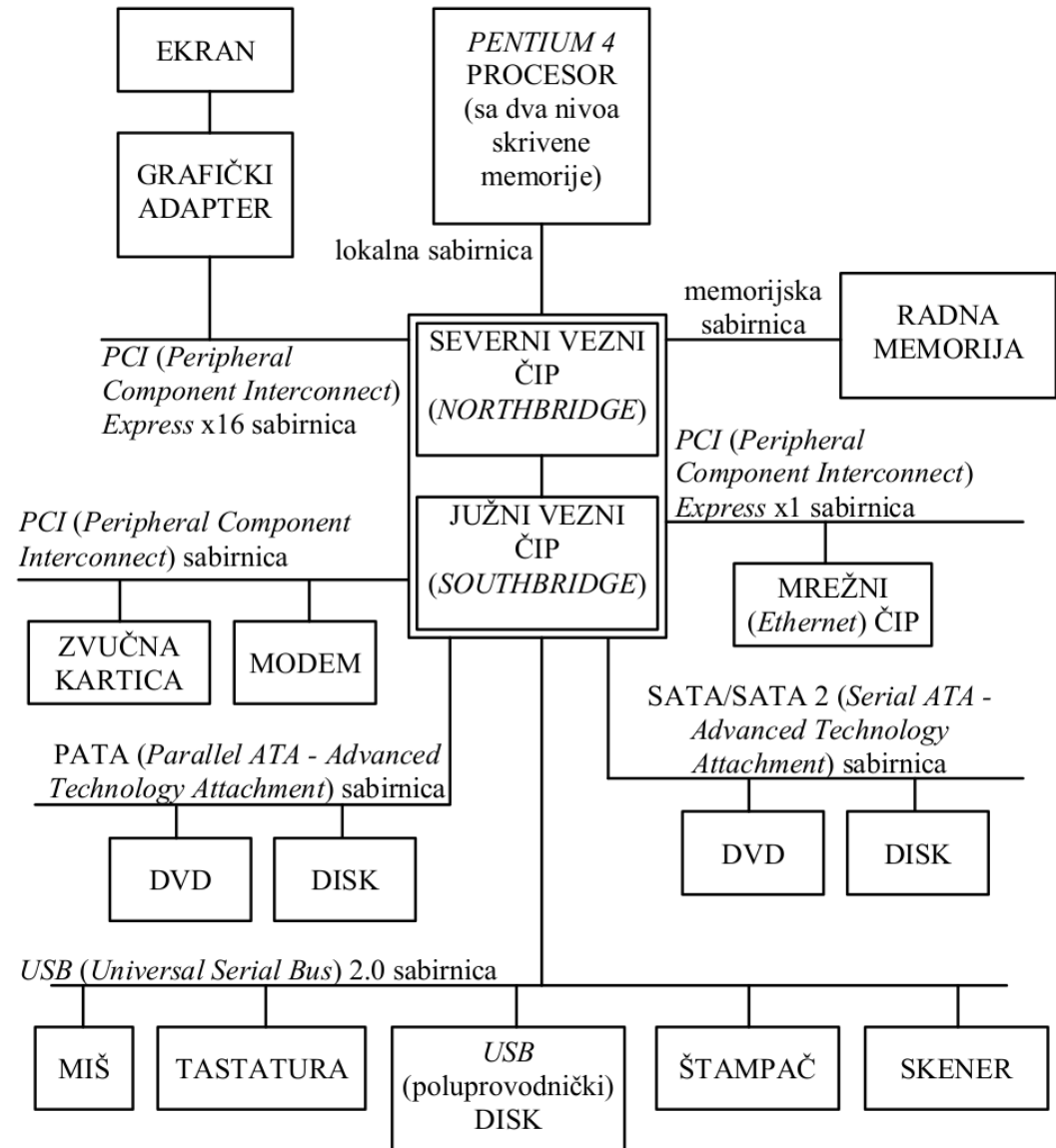
Ugrađeni računari

- 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
 - 1 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

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

Arhitektura računara IV generacije

Paralelizam unutar procesora

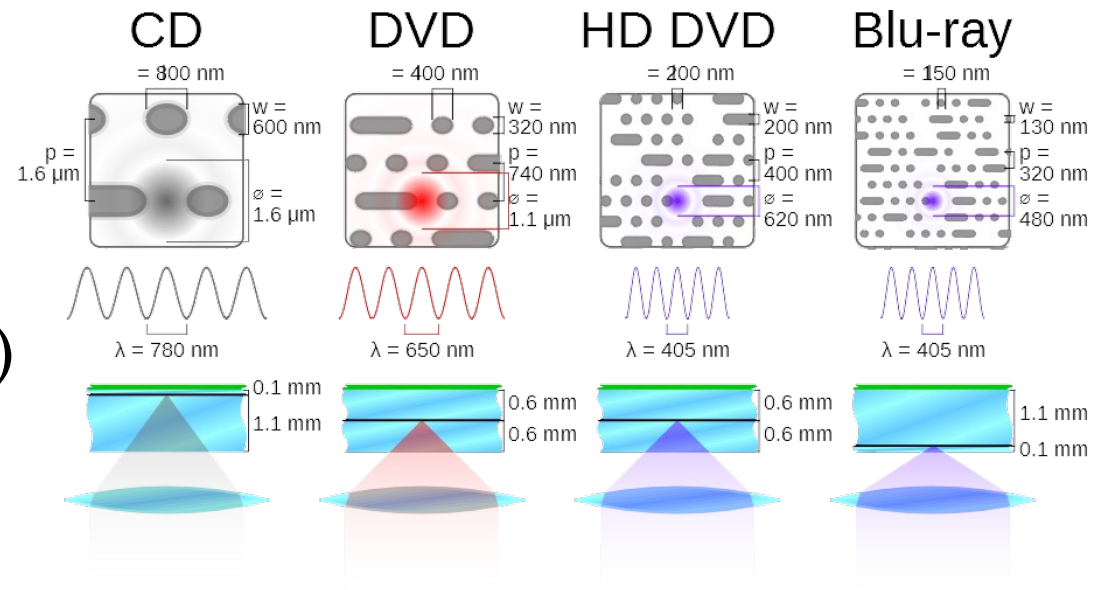
- Računari sa eksplicitnim paralelnim naredbama
 - potrebno što veće preklapanje “dugačkih” naredbi
 - izbegavanje grananja
 - predikatske naredbe (engl. *predicated instruction*)
 - prvo se proverí predikatski registar (engl. *predicate register*)
 - ako predikat (uslov) važi, izvršavaju se
 - ako ne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

```
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 indirektno 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