Uvod u računarstvo u oblaku

Tehnologije i sistemi neophodni za razumevanje koncepta računarstva u oblaku

Odabrana poglavlja iz operativnih sistema

Nemanja Maček

Sadržaj

- Šta je operativni sistem i koje su mu funkcije?
- Šta je jezgro, šta su procesi i kako se njima upravlja?
  - Problem sinhronizacije
  - Problem zastoja
- Radna i virtuelna memorija
- Sekundarne memorije i sistemi datoteka

Šta je operativni sistem?

- Operativni sistem (OS):
  - Upravlja programima, podacima i delovima računara (procesorom, kontrolerima, memorijom), s ciljem da oni budu što celishodnije upotrebljeni.
  - Kreira pristupačno radno okruženje za krajnjeg korisnika računara.
    - Sakriva od korisnika detalje funkcionisanja ovih delova koji nisu bitni za korišćenje računara.
- Drugim rečima, OS je skup programa koji:
  - **upravljaju resursima** računarskog sistema i
  - **obezbeđuju interfejs** prema korisniku.

Šta su resursi računara?

- Pod pojmom resurs podrazumevamo sve što je programu potrebno za rad.
- Resursi mogu biti:
  - **hardverski** (procesor, memorija, ulazno-izlazni uređaji),
  - **softverski** (programi, podaci, odnosno datoteke svih vrsta).
- Zadatak OSa je da vodi računa o resursima računara, odnosno da zadovolji potrebe programa, da prati koji program koristi koje resurse itd.
- Primer 1.
  - Dva korisnika višekorisničkog sistema istovremeno žele nešto da štampaju.
  - OS je dužan da obezbedi dostupnost štampača programima tih korisnika i da spreči da se podaci poslati na štampu mešaju.
- Primer 2.
  - Dva korisnika istovremeno pregledaju različite Web stranice preko *Remote Desktop*-a.
  - OS je dužan da spreči mešanje sadržaja preuzetih sa Mozzart-ove kladionice i *Cannibal Corpse* kanala na Youtube serisu.

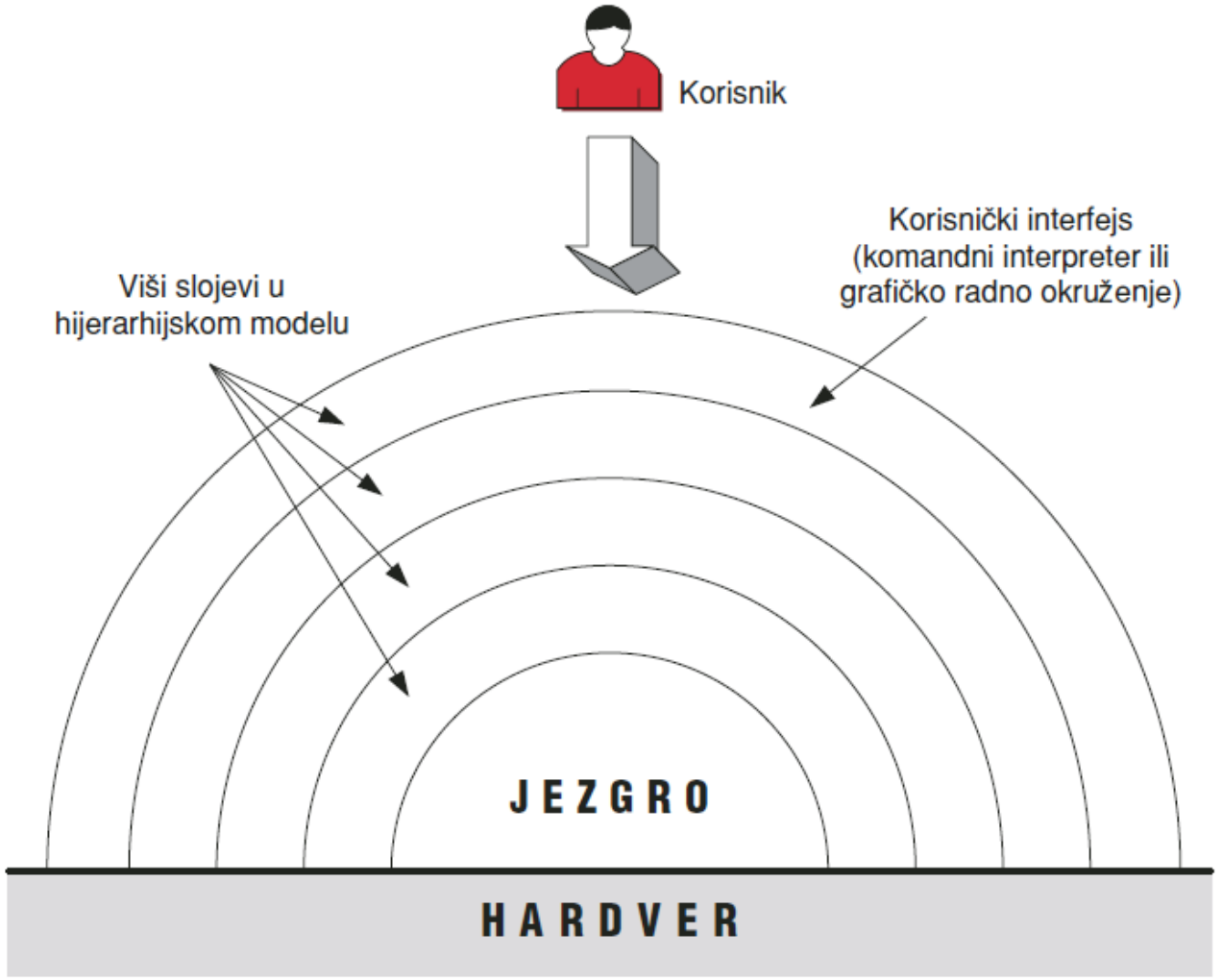
Koje grupe programa upravljaju resursima?

- Upravljanje osnovnim resursima računarskog sistema obezbeđuje više funkcionalnih grupa programa:
  - upravljanje procesorom,
  - upravljanje memorijom,
  - upravljanje ulazom i izlazom,
  - upravljanje podacima,
  - upravljanje sekundarnom memorijom,
  - umrežavanje i
  - zaštita
- Ove grupe su **hijerarhijski organizovane**.
- Ponekad je teško precizno reći (usaglasiti) šta se podrazumeva pod delovima OS, odnosno da li kontrolni programi pripadaju ili ne pripadaju OS.

Šta je to interfejs prema korisniku?

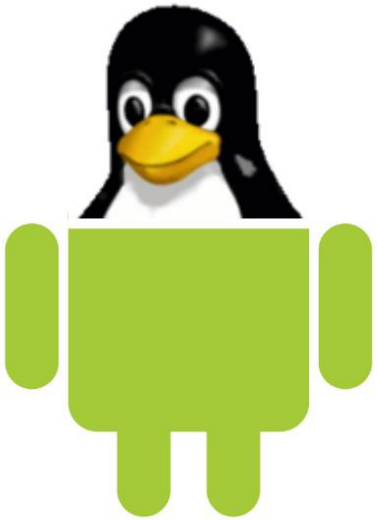
- Da li zaista želite da sami određujete stazu i sektor prilikom čitanja sa diska ili Vam je lakše da takav posao prepustite operativnom sistemu?

Hijerarhijski model operativnog sistema



Hijerarhijski model operativnog sistema

- Jedan sloj (čak ni najniži) ne nameće konkretan ostatak OS-a!
- Više OS-a mogu da koriste isto ili slično jezgro.
  - Primer: jedno (vrlo slično) jezgro koriste dva operativna sistema – Linux i Android.
- Slično, više OS-a mogu da koriste isti sistem datoteka.
  - Primer: i Windows i Linux koriste FAT i NTFS.



Šta karakteriše operativne sisteme?

- **Konkurentnost**.
  - Postojanje više simultanih, paralelnih aktivnosti.
- **Deoba resursa** (softverskih i hardverskih).
  - Konkurentne aktivnosti mogu da zahtevaju deljenje resursa ili informacija.
- **Efikasnost**.
  - Efikasnost je važna.
  - *Housekeeping* poslovi su takođe važni, ali na njih ne sme da otpadne veći deo vremena!
- **Visok nivo pouzdanosti**.
- **Prihvatljiva veličina**.

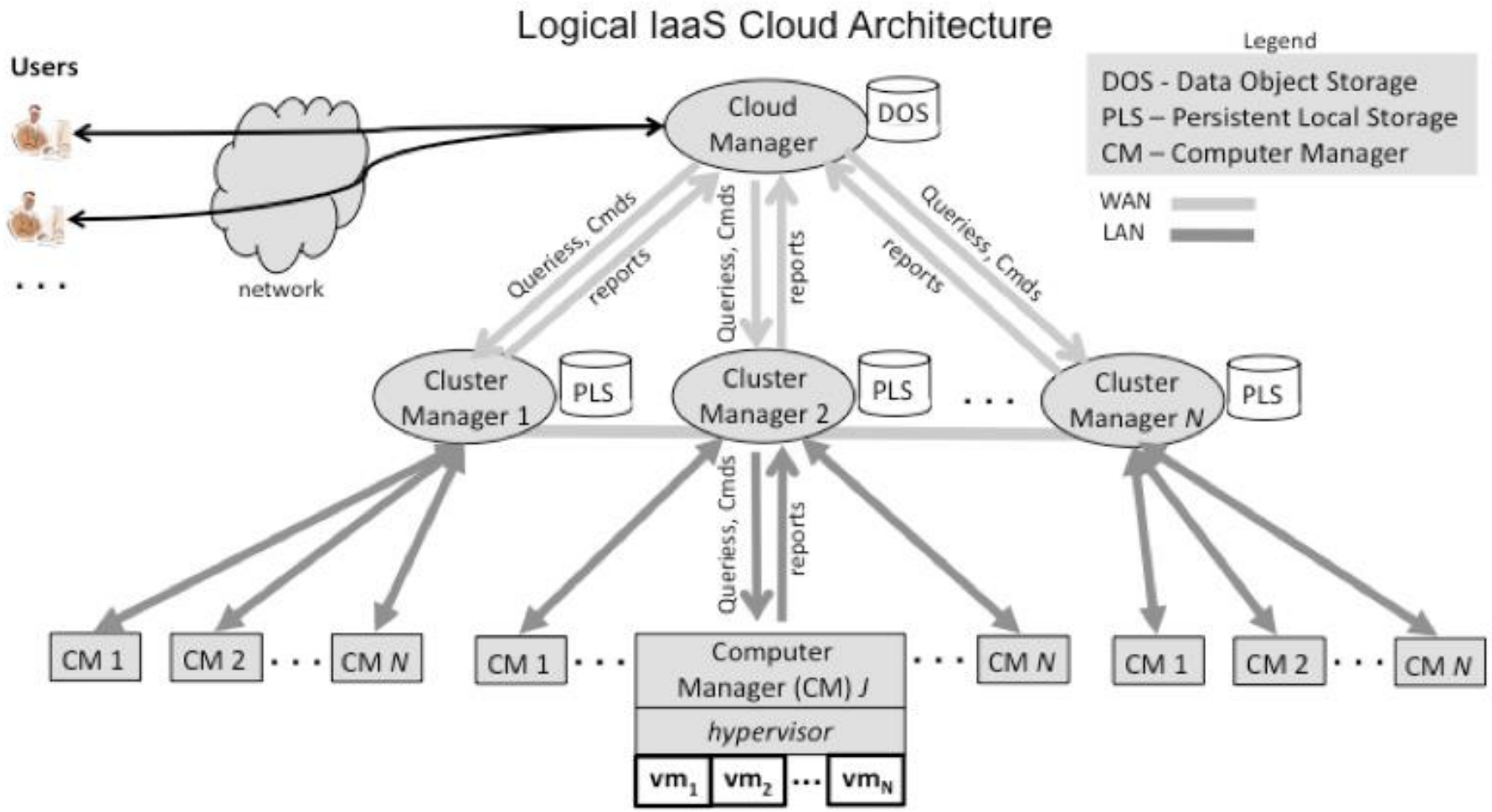
Šta su distribuirani sistemi?

- Kolekcija računara koji **ne dele** zajedničku memoriju i sistemski časovnik.
  - Svaki procesor, odnosno računar, ima sopstvenu lokalnu memoriju, a međusobna komunikacija se ostvaruje putem mreže realizovane kao LAN ili WAN.
  - Osim podataka, datoteka i štampača, distribuiraju se i procesi.
- Distribuirani sistemi zahtevaju mrežnu infrastrukturu i mogu biti realizovani ili kao:
  - **Klijent-server arhitektura**.
  - **Ravnopravni računarski sistemi** koji po mreži dele resurse.
- U klijent-server arhitekuri, postoje računari koje predstavljaju servere i računari koji koriste njihove usluge - klijenti.
- Postoje dve vrste servera:
  - **serveri za izračunavanje**, kojima klijenti šalju zahteve na obradu.
  - **serveri podataka** koji služe za smeštanje datoteka.

Šta su udruženi sistemi?

- Udruženi sistemi (*clustered system*) sastoje se od udruženih računara, odnosno od dva ili više nezavisnih računara koji dele diskove i čvrsto su povezani LAN mrežom.
- Svaki računar u udruženom sistemu naziva se čvor (*node*).
- Na svakom čvoru se izvršava jedan nivo softvera za udruživanje.
- Postoje dve vrste udruživanja:
- **Asimetrično udruživanje**.
  - Jedan server (čvor) izvršava aplikaciju, dok ostali (prateći) serveri prate rad glavnog servera u budnom ali neaktivnom stanju.
  - U slučaju otkaza glavnog servera jedan od pratećih servera preuzeće njegovu ulogu.
- **Simetrično udruživanje**.
  - Svi serveri su aktivni i izvršavaju aplikaciju.
  - Time se znatno poboljšavaju performase, ali sistem mora da izdrži otkaz jednog ili više servera kao i u perthodnom slučaju.

Da li se sećate ove slike?

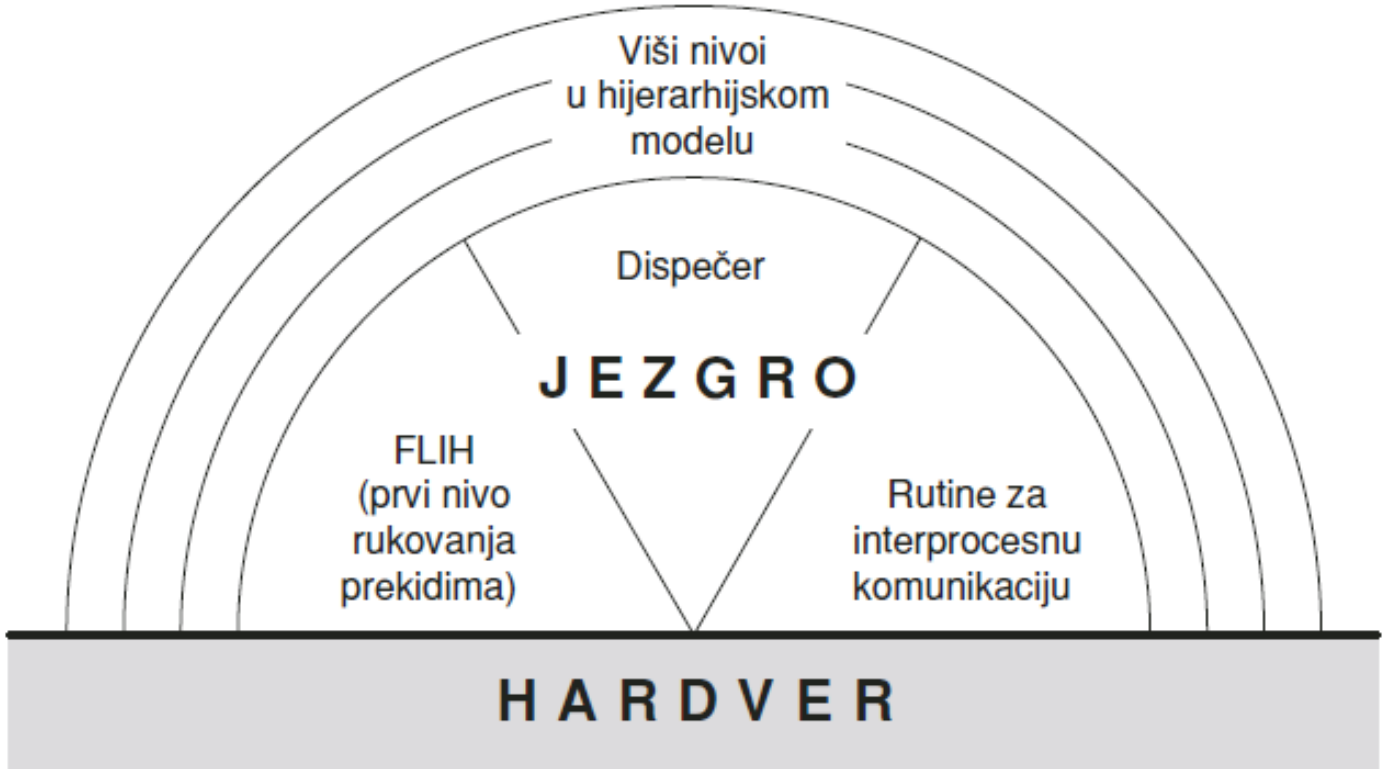


Šta je jezgro?

- **Kernel** (jezgro) je osnovni je deo svakog OS.
- U hijerarhijskom (slojevitom) modelu, kernel je najbliži hardveru.
  - Kernel je veza, odnosno interfejs između hardvera i ostalih slojeva OS.
  - U slojevitom modelu NT arhitekture ispod kernela se nalazi sloj apstrakcije hardvera (HAL) koji omogućava OS da vidi različit hardver na isti način.
- Osnovna funkcija kernela je upravljanje procesima, odnosno:
  - Stvaranje okoline u kojoj mogu postojati procesi
  - Dodeljivanje procesora procesima
  - Obezbeđivanje mehanizama za interprocesnu komunikaciju.
- Procesor je **nedeljivi resurs**!
  - Na jednom procesoru sa jednim jezgrom u jednom trenutku može se izvršavati samo jedan proces.
  - Kernel određuje kada i na koje vreme će proces dobiti procesor.
  - Ova pojava je poznata pod imenom multipleksiranje i predstavlja osnovu kvaziparalelnosti.

Osnovni delovi jezgra

- Jezgro takozvani model OS-a „na papiru“.



Osnovni delovi jezgra

- **Prvi nivo obrade prekida** (*FLIH*, *First Level Interrupt Handler*).
  - Rutine za određivanje izvora prekida i iniciranje servisa (opsluživanje nekih vrsta prekida).
  - *FLIH* odgovara na spoljašnje prekide i sistemske pozive.
  - Posle izvršavanja koda koji čini ovaj deo OSa, prekid se smatra opsluženim, a dispečer dalje odlučuje kom će procesu dalje predati procesor na korišćenje.
- **Dispečer sistema** (planer poslova niskog nivoa, *low-level scheduler*).
  - Deo kernela koji dodeljuje procesor procesima.
  - Procesor se uvek dodeljuje na osnovu nekog algoritma (na primer, *Shortest Job First*).
- **Rutine za ostvarivanje interprocesne komunikacije**.
  - Deo jezgra OSa koji obezbedjuje različite načine komunikacije među procesima, kao što su:
    - slanje poruka (*send message*, *post message*),
    - semaforske tehnike,
    - korišćenje imenovanih cevi (*named pipes*, mehanizam karakterističan za UNIX sisteme),
    - korišćenje deljive memorije.

Šta je proces?

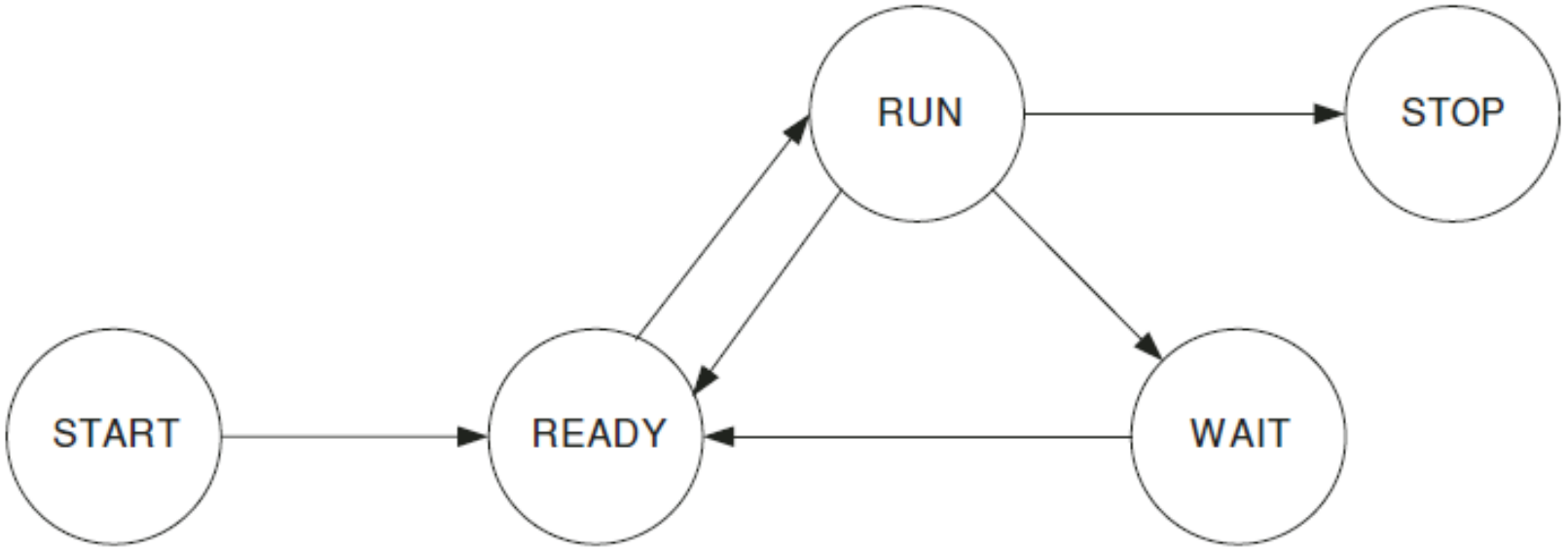
- **Proces** je program ili deo programa u stanju izvršavanja, zajedno sa svim resursima koji su potrebni za rad. Drugim rečima:
  - Program je **pasivan objekat**, odnosno datoteka na disku.
  - Kada se ta datoteka učita u memoriju, ona postaje proces, odnosno **aktivan objekat** koji ima svoje resurse, poput registara i memorije.
- To znači sledeće:
  - Tri korisnika koji obavljaju neku aktivnost biće predstavljena sa tri razna procesa.
  - Jedan program, koji je sam sebe razdelio na dva dela radi istovremenog (simultanog) izvođenja, biti predstavljen sa dva razna procesa.
- Sam operativni sistem je takođe sastavljen od niza procesa.
- Svaki proces ima tri fundamentalne memorijska dela, odnosno sekcije:
  - **programska sekcija** koja se ne menja i koja sadrži programski kod,
  - **stek sekcija** (*stack section*) koja sadrži privremene podatke (parametre za procedure, povratne adrese, itd ...) i
  - **sekcija podataka** (*data section*).

Šta je kontrolni blok, a šta kontekst procesa?

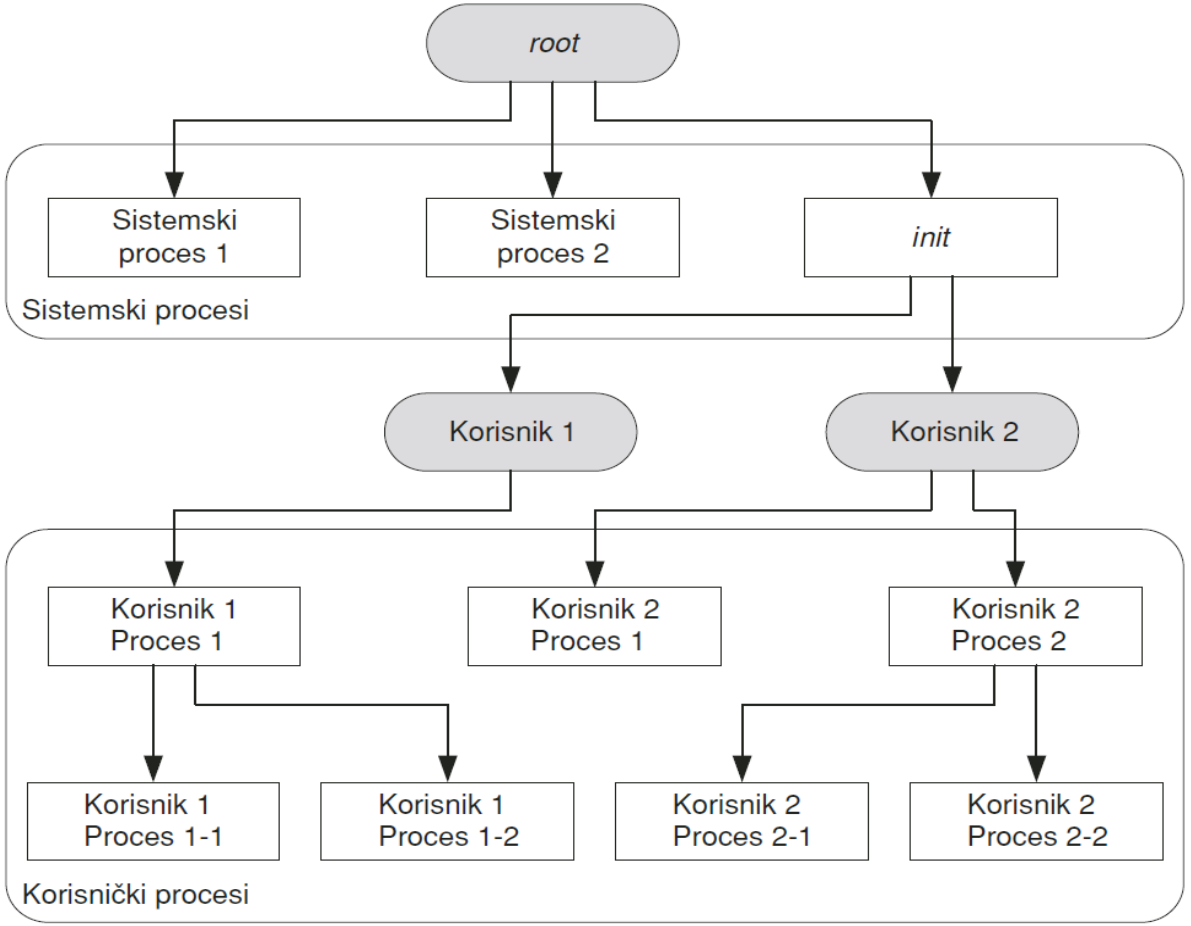
- **Kontrolni blok procesa** (*Process Control Block*, PCB) je memorijska struktura koju generiše OS.
- PCB sadrži osnovne informacije o procesu koje OS koristi za upravljanje tim procesom.
- Zahvaljujući PCB izvršenje programa se može prekidati i nastavljati više puta.
- U informacije iz kontrolnog bloka spadaju:
  - ime ili jedinstveni identifikator procesa (PID),
  - kontekst (okolina) procesa,
  - prioritet procesa,
  - informacije vezane za memoriju procesa,
  - lista otvorenih datoteka,
  - status zauzetih ulazno-izlaznih resursa,
  - trenutno stanje procesa.
- **Kontekst procesa** čine podaci koji se čuvaju prilikom oduzimanja procesora, a koje generiše sam hardver: programski brojač, vrednosti registara i pokazivači na deo memorije koji proces koristi.
- Deo PCB u kome se čuva kontekst se još naziva i **hardverski kontrolni blok** procesa.
- PCB se u realnim OS nikad ne nalazi u istom memorijskom području kao i proces.

Životni ciklus jednog procesa

- Konačni automat sa pet stanja.
- Pitanje: da li je tranzicija RUN -> WAIT moguća u jednoprocesnim sistemima?



Hijerarhijska procesna struktura (Linux)



Šta je raspoređivanje procesa?

- Svaki proces ostaje u stanju izvršenja dok mu:
  - ne istekne vremenski kvantum ili,
  - dok ne dođe u situaciju da mora da čeka na neki događaj (npr. završetak U/I) komande.
- Na prostim sistemima procesor ne radi ništa dok proces čeka.
- Na višeprocesnim sistemima, memorija se puni većim brojem procesa.
  - Kad aktivni proces mora da čeka, OS mu oduzima procesor i dodeljuje ga drugom procesu.
  - Dodela procesora po nekom algoritmu je jedna od najbitnijih funkcija OS-a!
- Tipovi raspoređivanja:
  - Raspoređivanje **bez predpražnjenja**.
    - Rapoređivanje bez prekidanja izvršenja tekućeg procesa.
    - Procesor se može oduzeti samo od procesa koji je završio svoje aktivnosti ili čeka na resurs.
  - Raspoređivanje **sa predpražnjenjem**.
    - Procesor se može oduzeti procesu koji nije završio svoje aktivnosti i nije blokiran!

Koji se algoritmi koriste za raspoređivanje procesa?

- First Come, First Served
- Shortest Job First
- Shortest Remaining Time First (SJF sa pretpražnjenjem)
- Raspoređivanje na osnovu prioriteta
- Round Robin (FCFS sa pretpražnjenjem)

Šta je sinhronizacija procesa?

- **Kooperatvni proces** može da utiče na druge procese ili da trpi uticaj drugih procesa.
  - Do toga dolazi usled deljenja podataka koji su smešteni u memoriji ili u datotekama.
- Ukoliko nema sinhronizacije, moguća je **nekonzistentnost** tih podataka!
- Primer:
  - Dva procesa P1 i P2 žele da privremeno sačuvaju neku vrednost na memorijskoj lokaciji A.
  - Proces P1 proverava da li je memorijska lokacija A slobodna.
    - Lokacija A je slobodna $\rightarrow$ Proces P1 je obavešten da je lokacija A slobodna.
  - Proces P2 proverava da li je memorijska lokacija A slobodna.
    - Lokacija A je slobodna $\rightarrow$ Proces P2 je obavešten da je lokacija A slobodna.
  - Proces P1 upisuje podatak na memorijsku lokaciju A.
  - Proces P2 upisuje drugi podatak na memorijsku lokaciju A.
  - Proces P1 čita **pogrešan** podatak sa memorijske lokacije A!
- Da bi se izbegle slične situacije, OS mora da obezbedi mehanizme za očuvanje konzistentnosti podataka, odnosno mehanizme **sinhronizacije procesa**.

Primer sinhronizacije: problem proizvođač – potrošač

- **Proivođač** je proces koji proizvodi informacije.
- **Potrošač** je proces koji ih troši (koristi).
- Ta dva procesa mogu da rade konkurentno ukoliko postoji **deljivi bafer** koji će puniti proizvođač, a prazniti potrošač.
- **Pravila sinhronizacije**:
  - Potrošač ne može uzeti ništa iz bafera ako proizvočač to prethodno nije stavio u bafer.
  - Ukoliko je bafer pun, proizvođač ne može ubaciti informaciju dok potrošač najpre ne uzme nešto iz bafera.

Primer sinhronizacije: problem proizvođač – potrošač

- **Deljivi bafer** se može realizovan kao cirkularna struktura koja se sastoji od *N* elemenata [0, *N*-1].
  - Pokazivači `in` i `out` određuju prvo slobodno i prvo puno mesto u baferu.
  - Bafer je prazan kada je `in=out`.
  - Bafer je pun kada `(in+1) mod N = out`.

```
# define N 10
typedef struct {
   /* Promenljive koje čine jedan element bafera, odnosno jednu informaciju */
} item;
item buffer[N] // Bafer veličine N
int in = 0; // Prvo slobodno mesto
int out = 0; // Prvo zauzeto mesto
```

Primer sinhronizacije: problem proizvođač – potrošač

- Proizvođač:

```
item next_produced;
while (1) {
  /* Proizvođač proizvodi informaciju */
  while (((in+1)%N) == out);
  /* Sinhronizacija (bafer je pun).
     Proizvođač čeka da potrošač nešto
     uzme iz bafera */
   buffer[in] = next_produced;
   in = (in+1) % N;
}
```

- Potrošač:

```
item next_consumed;
while (1) {
  while (in == out);
  /* Sinhronizacija (bafer je prazan).
     Potrošač čeka se da proizvođač
     nešto stavi u bafer /*
   next_consumed = buffer[out];
   out = (out+1) % N;
   /* Potrošač konzumira informaciju */
}
```

- Ovo rešenje je korektno samo u slučaju da se u baferu mogu naći najviše *N*-1 informacija.
- Za slučaj bafera u kome se mogu naći svih *N* informacija mora se obezbediti dodatna sinhronizacija.

Problem zastoja

- Sistem se sastoji od **konačnog broja resusra** koje koriste konkurentni procesi.
- Svaki resurs se može sastojati od jedne ili više identičnih **instanci**.
  - Primer: server ima četiri procesora.
  - Procesor je resurs sa četiri instance.
- Ako resurs ima više instanci a proces zahteva jednu, alokacija bilo koje slobodne instance će zadovoljiti potrebe procesa.
- U normalnom režimu rada proces može da koristi resurs samo na sledeći način:
  - **Zahtev** (*request*). U ovoj fazi proces zahteva resurs.
    - Ako zahtev za dodelom resursa ne može da se ispuni trenutno, proces mora da čeka dok se resurs ne oslobodi.
  - **Korišćenje** (*use*). U ovoj fazi proces je dobio resurs i može ga slobodno koristiti.
  - **Oslobađanje** (*release*). Nakon korišćenja resursa proces mora da oslobodi resurs.
- Drugim rečima: proces mora zahtevati resurs pre korišćenja i otpustiti resurs nakon korišćenja.

Problem zastoja

- U višeprocesnoj okolini više procesa se mogu međusobno takmičiti za konačan broj resursa.
- Proces P1 koji zahteva **neraspoloživ resurs** R1 ulazi u stanje WAIT i postaje blokiran.
- Pitanje: da li blokirani proces P1 može zauvek ostati u tom stanju?
  - Ova pojava je moguća.
  - Jedan proces može zahtevati više različitih resursa.
  - Scenario:
    - Pre ulaska u stanje WAIT procesu P1 je dodeljen drugi resurs R2.
    - Resurs R2 ostaje neraspoloživ za druge procese.
    - Resurs R1 je dodeljen na korišćenje drugom procesu P2.
    - Proces P2 u toku vremena prelazi u stanje čekanja na neraspoloživ resurs R2.
- U ovoj sitaciji niko ne oslobađa svoje resurse a traži nove – procesi ostaju zaglavljeni.
- Takva situacija naziva se **zastoj** (deadlock).
  - Zastoj treba izbeći.
  - Sistem doveden u stanje zastoja se mora oporaviti.

Problem zastoja

- Primeri zastoja koji nijsu vezani za računarski sistem:
  - Dve osobe, od kojih se jedna penje uz merdevine a druga spušta niz merdevine.
  - Dva voza koja se kreću jedan prema drugom istom šinom.
  - Zvezdasta raskrsnica u kojoj lako dolazi do zastoja.
  - ... i varijacije na temu.

Šta je neophodno da do zastoja dođe?

- **Međusobno isključenje**.
  - Samo jedan proces u jednom trenutku može koristiti resurs ili jednu njegovu instancu.
  - Drugi proces koji zahteva taj resurs (instancu) mora da čeka dok se resurs ne oslobodi.
- **Nema pretpražnjenja** (otimačine resursa).
  - Resurs se ne može nasilno oduzeti i predati drugom procesu.
  - Proces koji ga koristi mora da završi posao i oslobodi resurs.
- Uslov **zadržavanja resursa i čekanja na drugi** (*hold and wait*).
  - Proces drži jedan resurs.
  - Proces istovremeno čeka na dobijanje resursa koga koristi neki drugi proces.
- **Kružno čekanje** (*circular wait*).
  - Postoji skup procesa {P_0, P_1, …, P_0} koji čekaju na resurse u kružnom poretku.
    - Proces P_0 čeka na resurs koga drži proces P_1.
    - Proces P_1 čeka na resurs koga drži proces P_2 …
    - Proces P_{n-1} čeka na resurs koga drži proces P_n.
    - Proces P_n čeka na resurs koga drži proces P_0.

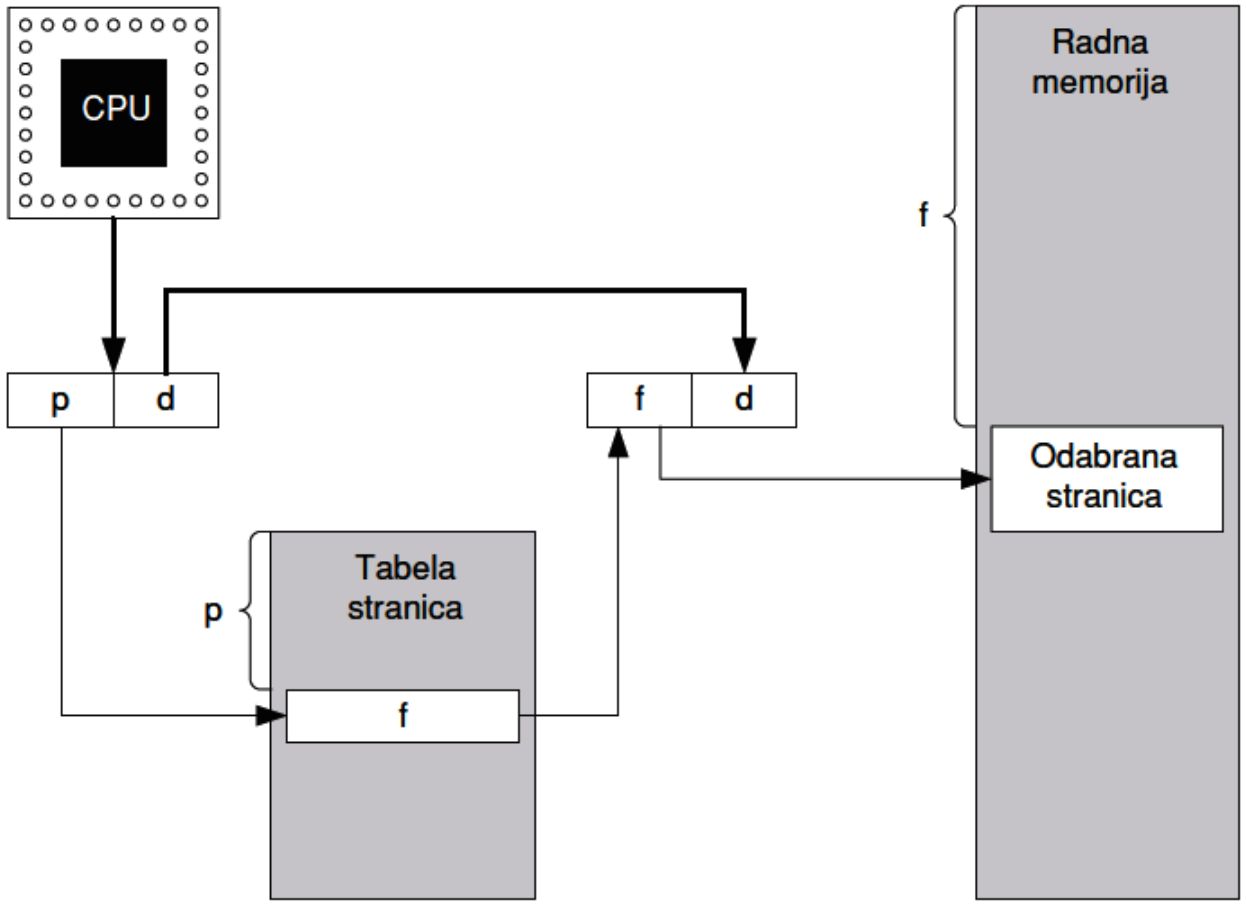
Fizička memorija

- Memorija je niz memorijskih reči od kojih svaka ima jedinstvenu adresu.
- Prilikom izvršavanja procesa:
  - Procesor na osnovu vrednosti programskog brojača čita instrukcije iz memorije.
  - Instrukcije u toku izvršenja mogu zahtevati:
    - Čitanje podataka sa drugih lokacija.
    - Upis podataka na druge memorijske lokacije.
- Pitanja:
  - Da li proces bez memorije može nešto da uradi?
  - Da li može da se izvrši?
  - Da li ima logike izvršavati proces sa diska?
- Odgovori na ova pitanja kažu da je fizička memorija pored procesora fundamentalni deo računarskog sistema!

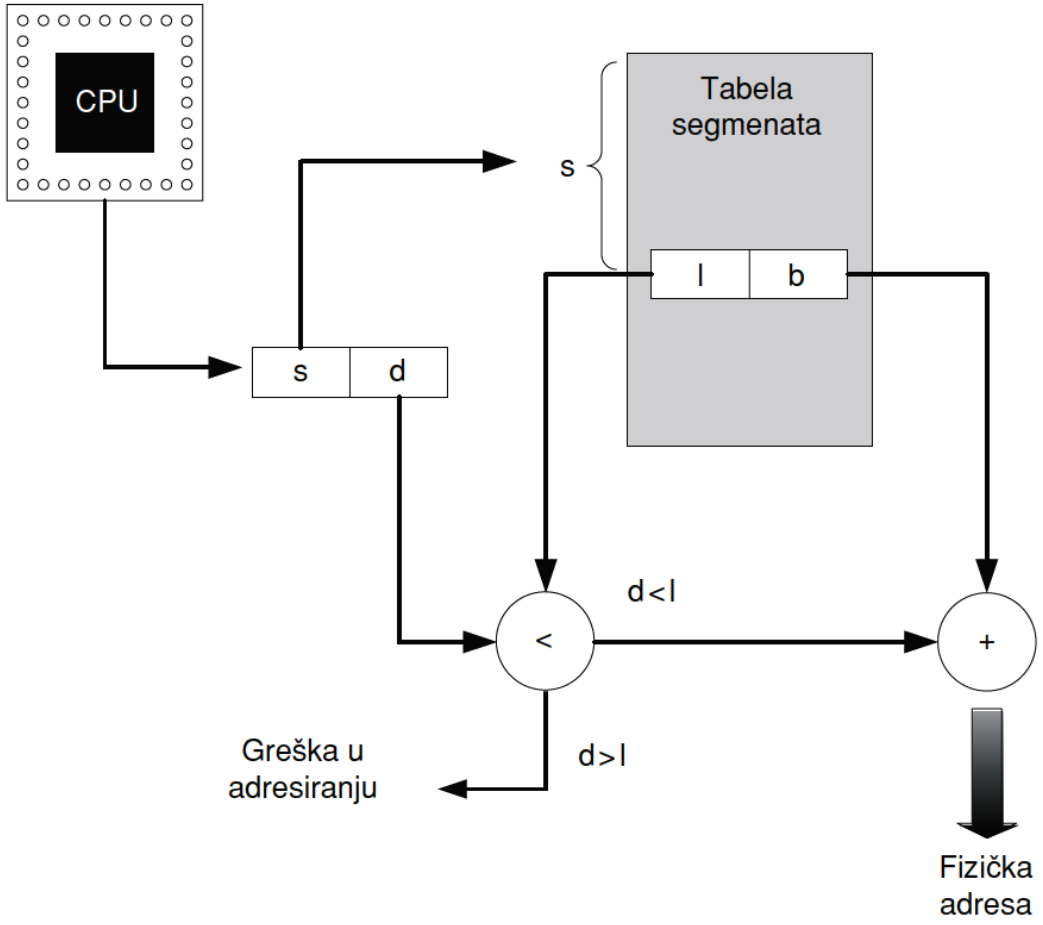
Fizička memorija

- Sloja za upravljanje memorijom (*memory manager*-a):
  - Vodi računa o korišćenju memorije.
  - Dodeljuje memoriju procesima kad je zatraže.
  - Oslobađa memoriju od procesa kad završe svoje aktivnosti.
  - Vrši razmenu između memorije i diska (kada glavna memorija nije dovoljno velika da sadrži sve procese).
- *Memory manager* takođe:
  - Razdvaja fizički i logički adresni prostor.
  - Prevodi relativne (relokatibilne) adrese u fiksne (vezivanje adresa).
  - Obavlja relokaciju (kompakciju, odnosno defragmentaciju operativne memorije).
  - ...

Šta je straničenje?

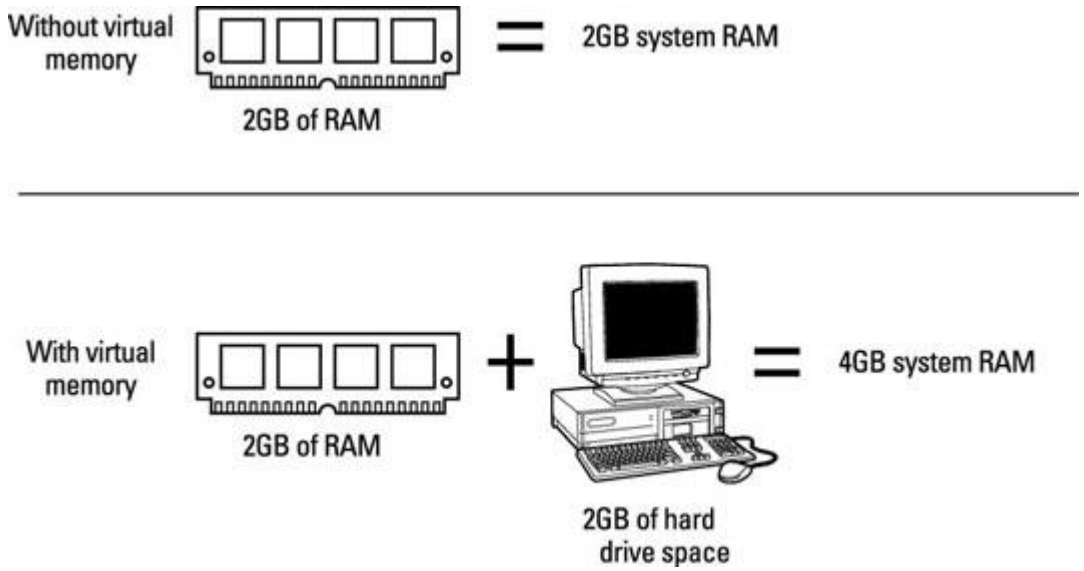


Šta je segmentacija?

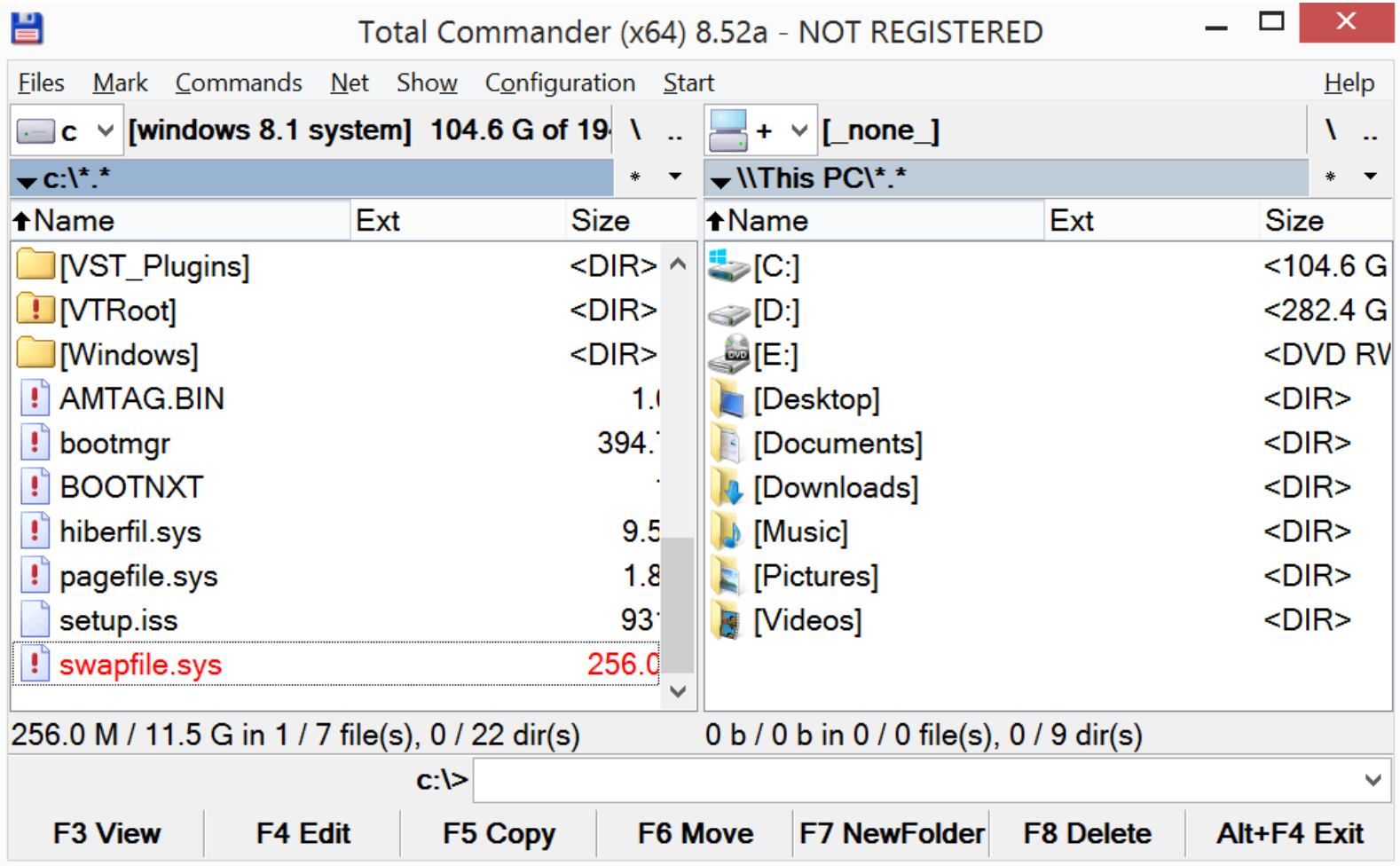


Šta je virtuelna memorija?

- Tehnika koja dozvoljava izvršavanje procesa čiji delovi mogu biti smešteni na diskovima.
- Virtuelna memorija:
  - Formira apstrakciju (logička memorija = operativna memorija + sekundarna memorija).
  - Omogućava izvršenje programa većih od same fizičke memorije.
  - Dozvoljava smeštaj znatno većeg broja procesa u memoriju (konkretno, delova procesa).



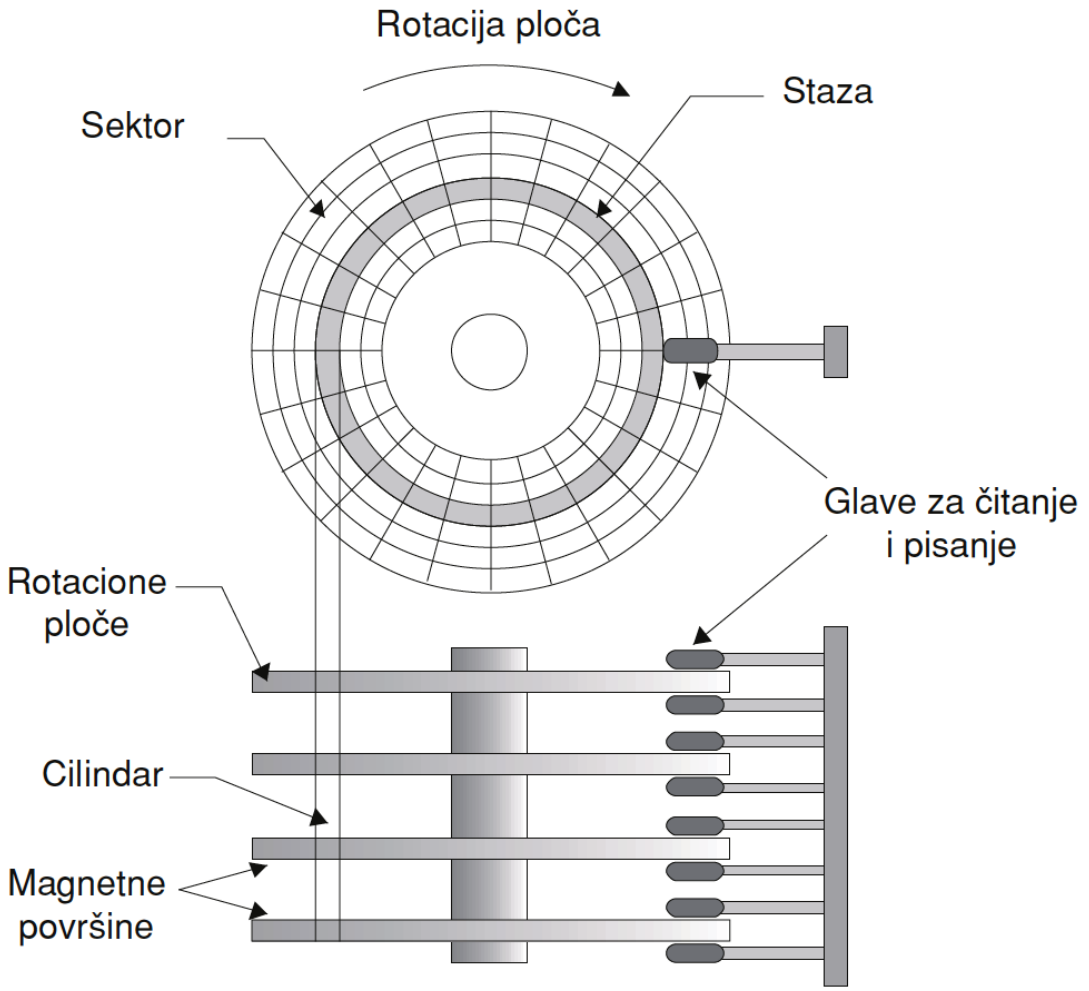
Gde je swap smešten na Windows-u?



Šta je hard disk a šta disk kontroler?

- Skup **rotacionih kružnih ploča** koje rotiraju oko zajedničke ose.
- Površine ploča su presvučene **magnetnim materijalom**.
- Svaka površina ima pridruženu **glavu za čitanje i pisanje**.
  - Čitaju ili upisuju podatke sa magnetnih ploča.
  - Linearno se pokreću pomoću sopstvenog servo-sistema.
  - Na taj način im je uz rotaciju ploča omogućen pristup svim delovima magnetne površine.
- Računar i disk komuniciraju putem **disk kontrolera** (*disk controller*).
  - Disk kontroleri pružaju **interfejs ka ostatku računara**.
    - Računar ne mora da zna način rada niti da kontoliše elektro-mehaniku diska.
    - Dodatne funkcije kontrolera:
      - Baferovanje podataka koje treba upisati na disk.
      - Keširanje diskova.
      - Automatsko obeležavanje neispravnih sektora diska.

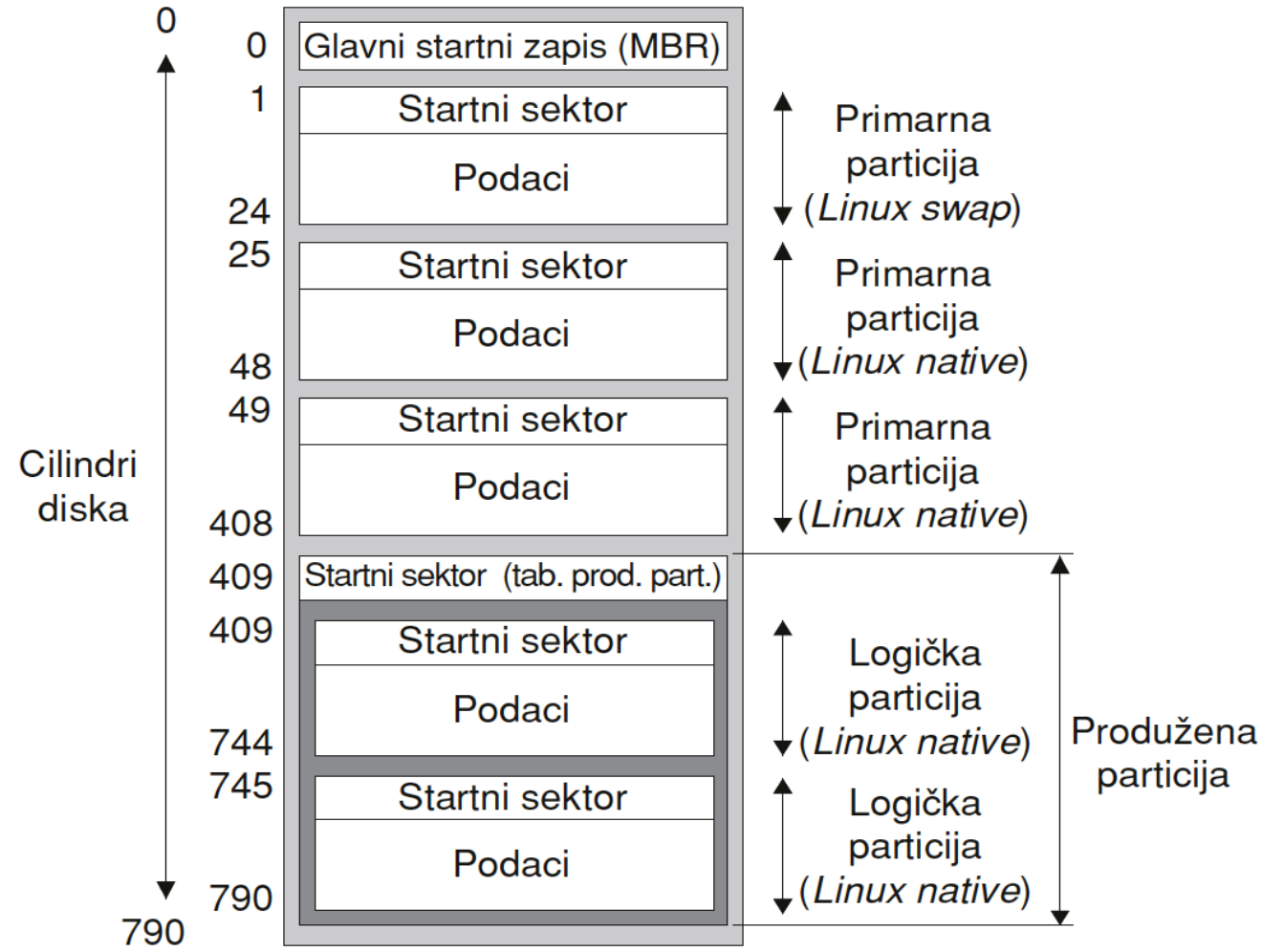
Šta je hard disk a šta disk kontroler?



Šta je hard disk a šta disk kontroler?

- **IDE** (*Integrated Drive Electronics*) tj. **ATA** (*Advanced Technology Attachment*)
  - Kontroler integrisan na matičnoj ploči.
  - /dev/hda, /dev/hdb, …
  - Dva kanala: *primary* i *secondary*.
  - Na svaki se mogu vezati do dva uređaja u odnosu *master-slave*.
- **SATA** (*Serial* ATA)
  - Kontroler integrisan na matičnoj ploči.
  - /dev/sda, /dev/sdb, …
- **SCSI**
  - Kontroler NIJE integrisan na matičnoj ploči.
  - Na kontroler je moguće vezati od 7 do 15 uređaja.
  - SCSI uređaji se ne nalaze u master-slave odnosu već se vezuju prema prioritetima.
    - Prioritet uređaja određen je njegovim ID koji se postavlja preko džampera.
    - ID=0 (najviši prioritet), ID=15 (najniži prioriter), ID=7 (rezervisan za SCSI kontroler).

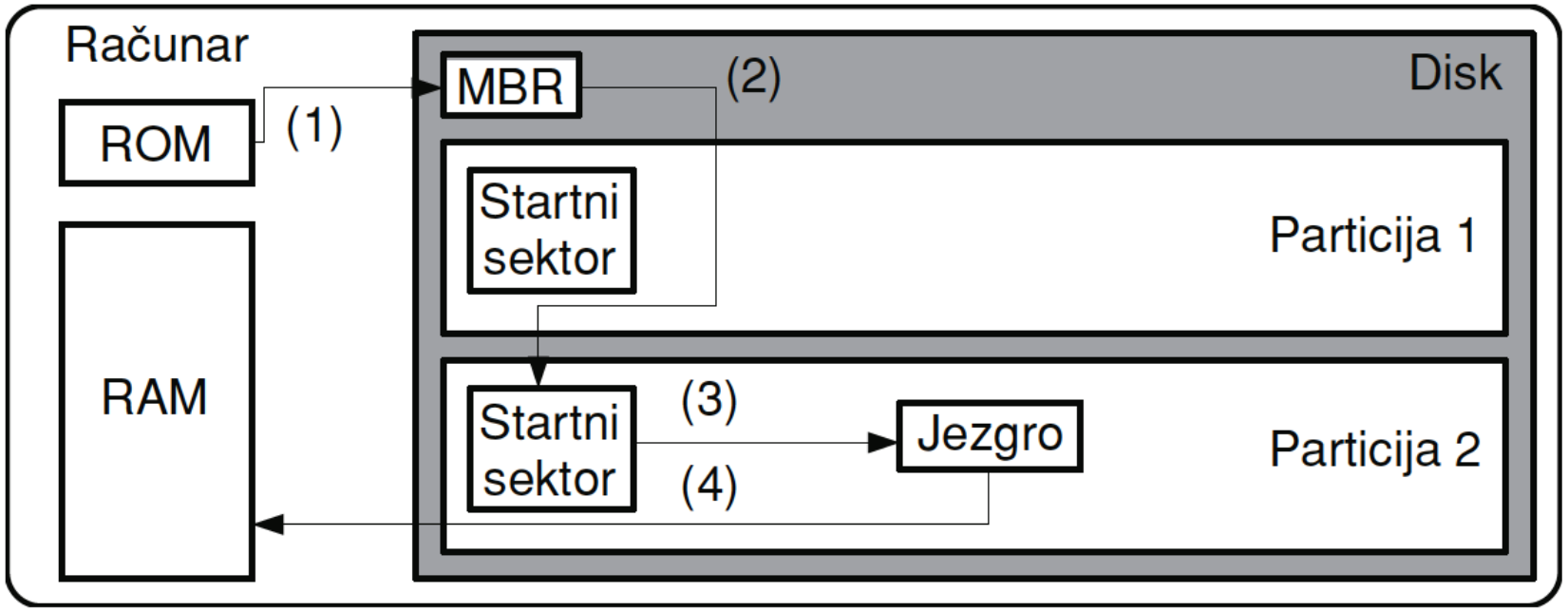
Šta je particija diska (na primeru MBR)?



Šta je bootstrap rutina (na primeru MBR)?

- Kada se računar uključi BIOS izvršava **POST rutinu** (*Power On Self Test*).
- POST = serija testova hardvera.
- **Podizanje sistema** (*boot*) je procedura koja se izvršava u cilju dovođenja sistema u operativno stanje.
- Primer (MBR):
  - Kod upisan u prvom MBR najpre identifikuje **aktivnu particiju** u particionoj tabeli.
  - Zatim se izvršava **kod upisan u boot sektoru** aktivne particije.
  - Program u boot sektoru je zadužen da **pokrene punjenje RAM memorije OS-om**.
  - Napomena:
    - Delovi koda u toj fazi nalaze se na fiksnim područjima diska, a ne u sistemima datoteka.
    - Zašto?
      - U toj fazi nema kernela, pa nemamo podršku za sistem datoteka.
  - Rana faza podizanja operativnog sistema se završava učitavanjem jezgra.

Šta je bootstrap rutina (na primeru MBR)?



Šta je sistem datoteka?

- Diskovi se mogu podeliti na više delova.
  - Delovi diska se nazivaju **particije** (partitions) ili **volumeni** (volumes).
  - Da bi deo diska mogao da se iskoristi za skladištenje podataka, potrebno je na njemu kreirati sistem datoteka.
  - Svaki deo diska predstavlja granice u čijim se okvirima može kreirati sistem datoteka.
- **Sistem datoteka** je skup metoda i struktura podataka koje operativni sistem koristi za čuvanje datoteka.
- Sistem datoteka čine:
  - **Zaglavlje** (podaci neophodni za funkcionisanje sistema datoteka)
  - **Meta podaci** (strukture za organizaciju podataka na medijumu)
  - **Podaci** (datoteke i direktorijumi).
- Zaglavlje i meta-podaci čine premašenje sistema, ali bez njih sistem datoteka ne može da funkcioniše.

Literatura

1. B. Đorđević, D. Pleskonjić, N. Maček (2005): Operativni sistemi: teorija, praksa i rešeni zadaci. Mikro knjiga, Beograd.
2. R. Popović, I. Branović, M. Šarac (2011): Operativni sistemi. Univerzitet Singidunum, Beograd. *

* Može se besplatno preuzeti sa portala: www.singipedia.com

Hvala na pažnji

Pitanja su dobrodošla.