

Komutacioni sistemi

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

Uvod u komutacione sisteme

1-1

1

O čemu se radi?

- ❑ Predmet koji se bavi komutacionim sistemom kao najvažnijim elementom svake telekomunikacione mreže.
- ❑ Radi se o jednoj od najvažnijih oblasti telekomunikacija.
- ❑ Potrebno je elementarno znanje iz telekomunikacija.
- ❑ Materijali za spremanje ispita će biti dostupni u formi prezentacija na zvaničnoj web stranici predmeta na sajtu UCG.
- ❑ Materija ima nastavak u kursevima koji slijede u sledećem semestru ili na doktorskim studijama

Uvod u komutacione sisteme

1-2

2

O čemu se radi?

Način polaganja:

<u>Rad</u>	<u>broj</u>	<u>% ocjene</u>
Kolokvijum	1	35%
Seminarski	1	30%
Završni ispit	1	35%

Uvod u komutacione sisteme 1-3

3

Pregled kursa:

Pripremne nedjelje	Priprema i upis semestra
I nedjelja	Uvod
II nedjelja	Multipleksiranje.
III nedjelja	Koncepti digitalne telefonske komutacije kola
IV nedjelja	Digitalni telefonski komutacioni sistem
V nedjelja	Signalizacija. Sinhronizacija.
VI nedjelja	Osnove komutacije paketa
VII nedjelja	Kolokvijum
VIII nedjelja	Komutacioni uređaji (baferovanje na ulazu i izlazu)
IX nedjelja	Komutacioni uređaji (VOQ i CQ)
X nedjelja	Rutiranje, Ruter.
XI nedjelja	Optička komutacija. OTN
XII nedjelja	MPLS. SDN. OpenFlow.
XIII nedjelja	Komutacioni sistemi u mobilnim telekomunikacionim mrežama
XIV nedjelja	Komutacioni sistemi u Data centrima
XV nedjelja	Odbrana seminarskih radova
XVI nedjelja	Završni ispit
Završna nedjelja	Ovjera semestra i upis ocjena.
XVIII-XXI nedjelja	Dopunska nastava i popravni ispitni rok.

Uvod u komutacione sisteme 1-4

4

Pregled kursa :

Seminarski rad

- Samostalan rad
- Dodjela će biti u trećoj nedjelji
- Tema vezana za sadržaj kursa
- Javna odbrana seminarskog

Uvod u komutacione sisteme 1-5

5

Pitanja, komentari, ... ???

Uvod u komutacione sisteme 1-6

6

Koncepti telekomunikacione mreže

Struktura telekomunikacione mreže

- ❑ Oprema (hardware & software)
- ❑ Infrastruktura (kanalizacija, stubovi, energetske instalacije, kablovi, objekti,...)



Uvod u komutacione sisteme 1-7

7

Koncepti telekomunikacione mreže

Elementi telekomunikacione mreže:

- ❑ Korisnički terminali (obezbjeđuju pristup korisnika telekomunikacionoj mreži)
- ❑ Telekomunikaciona pristupna mreža (obezbjeđuju povezivanje terminala na mrežn čvorište)
- ❑ Mrežna čvorišta (prosleđivanje informacije sa ulaza na izlaza i povezivanje sa drugim mrežnim čvorištima)
- ❑ Prenosni sistemi (povezivanje mrežnih čvorišta)
- ❑ Server (obezbjeđuju servise i sadržaje)



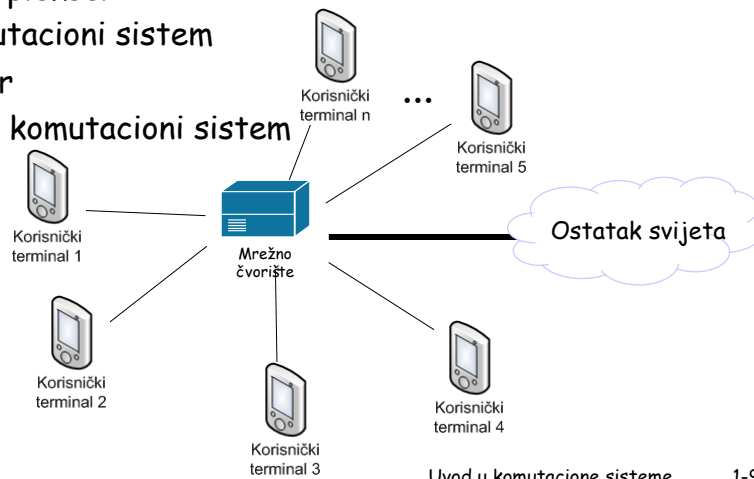
Uvod u komutacione sisteme 1-8

8

Osnovni pojmovi

Mrežno čvorište

- Multiplekser
- Komutacioni sistem
- Ruter
- SDN komutacioni sistem
- ...



9

Osnovni pojmovi

Principi realizacije telekomunikacionih mreža:

1. Komutirane
 1. Komutacija kola
 1. Prostorna raspodjela (uspostavljanje fizičkog puta)
 2. Vremenska raspodjela (ostvarivanje veza zauzimanjem vremenskih kanala u vremenskom multipleksu)
 3. Frekvencijska raspodjela (ostvarivanje veza zauzimanjem kanala u frekvencijskom ili talasnom multipleksu)
 4. Hibridne raspodjele
 2. Komutacija na principu uskladišti i prosljedi (store & forward)
 1. Komutacija poruka (telegrafija)
 2. Komutacija paketa
 1. Komutacija datagrama (svaki paket se posebno prosleđuje)
 2. Komutacija virtuelnih kola (uspostavljanje virtuelnog kola)
 3. Komutacija labela (komutiranje na bazi labele u zaglavlju paketa)
 4. Komutacija tokova (paketi jednog toka se prosleđuju na isti način)
2. Broadcast

Uvod u komutacione sisteme 1-10

10

Osnovni pojmovi

ITU-T definicija komutacije:

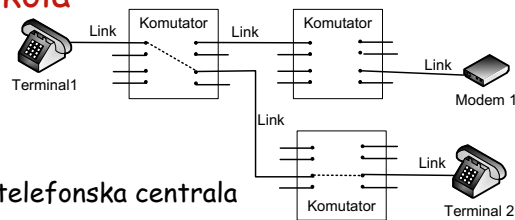
Uspostavljanje na zahtjev pojedinačne veze od željenog ulaza do željenog izlaza komutacionog sistema za vrijeme željenog prenosa informacija.

Uvod u komutacione sisteme 1-11

11

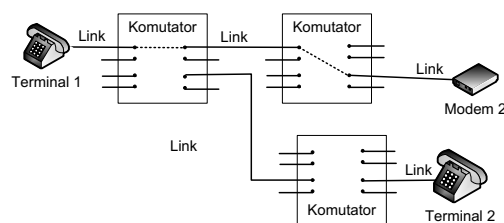
Osnovni pojmovi

Komutacija kola



Komutator kola = telefonska centrala
Terminal = telefon, modem,...

a)



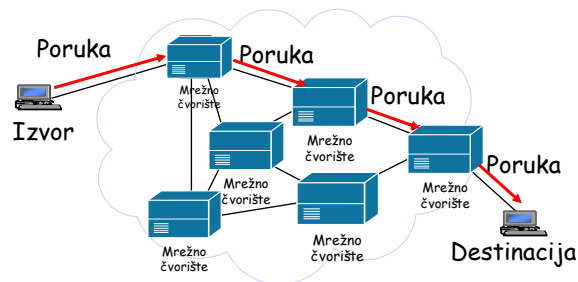
Uvod u komutacione sisteme 1-12

b)

12

Osnovni pojmovi

Komutacija poruka



Uvod u komutacione sisteme 1-13

13

Istorija komutacionih sistema

- ❑ Manuelni sistemi (New Haven, USA, 1878)
- ❑ Elektromehanički sistemi (Almon B. Strowger, Kansas City, USA, 1889)
 - 500-linijski selektor (1923)
 - Matrični ("crossbar") sistemi (1937)
- ❑ Digitalni, programski upravljani sistemi
 - Telefonske centrale
 - Komutatori paketa
 - N-ISDN i B-ISDN komutatori
 - Optički komutatori
 - Softverski komutatori

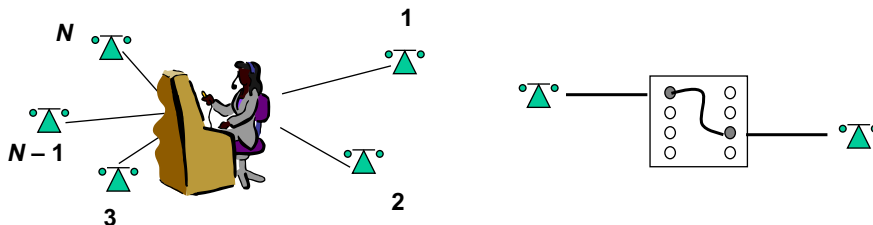
Uvod u komutacione sisteme 1-14

14

Istorija komutacionih sistema

Manuelni komutator

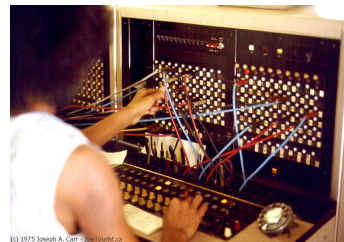
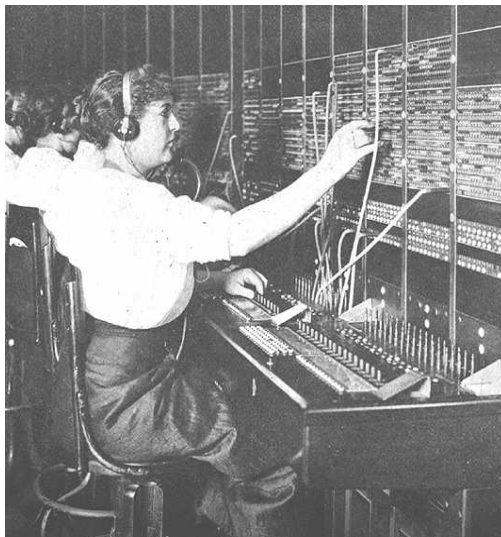
- 1878. godine
- Operatori povezuju korisnike po zahtjevu
 - Operator uspostavlja *ko/o* koje dozvoljava električnoj struji da teče od ulaza do izlaza
- Potrebno je samo N veza do centrale



Uvod u komutacione sisteme 1-15

15

Istorija komutacionih sistema



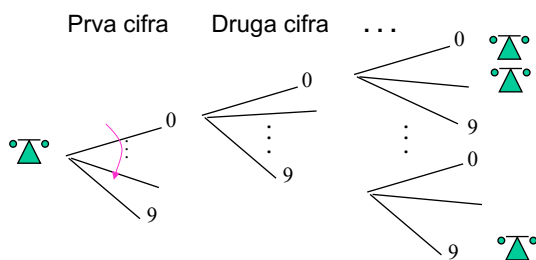
Uvod u komutacione sisteme 1-16

16

Istorija komutacionih sistema

Automatski mehanički komutator

- Operatori su inteligentni i fleksibilni ali su skupi i nijesu uvijek diskretni
- Strowger je 1888. godine izumio automatski komutator (korak po korak)
 - Svaki strujni impuls pomjera klizač za 1 poziciju
 - Korisnik biranjem kontroliše uspostavljanje veze
- Decimalni telefonski plan numeracije
- Hijerarhijska struktura mreže pojednostavljuje rutiranje
 - Kod oblasti, centrale, broj pretplatnika



Uvod u komutacione sisteme 1-17

17

Istorija komutacionih sistema

Strowger-ov komutator

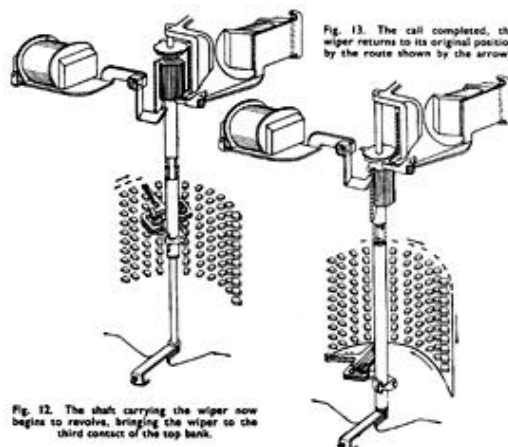


Fig. 12. The shaft carrying the wiper now begins to revolve, bringing the wiper to the third contact of the top bank.

Fig. 13. The call completed, the wiper returns to its original position by the route shown by the arrows.

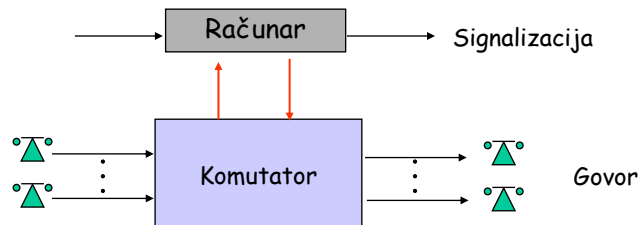
Uvod u komutacione sisteme 1-18

18

Istorija komutacionih sistema

Računarsko upravljanje vezom

- Računar kontroliše vezu u telefonskom komutacionom sistemu
- Računari razmjenjuju signalizacione poruke radi:
 - koordiniranog uspostavljanja telefonskih veza
 - implementacije novih servisa kao što su identifikacija, govorna pošta, . . .
 - obezbjeđivanje mobilnosti i *roaming*-a u celularnim mrežama
- “Inteligencija” je unutar mreže
- Uspostavlja se zasebna signalizaciona mreža



Uvod u komutacione sisteme 1-19

19

Istorija komutacionih sistema

Klasifikacija komutatora kola

- Prostorni komutator
 - Komutator na bazi prostorne raspodjele
 - Uspostavljanje fizičke veze između ulaza i izlaza
 - Primjeri: Krosbar komutatori, Višekaskadni komutatori,...
- Vremenski komutator
 - Komutator na bazi vremenske raspodjele
 - Tehnika prosleđivanja vremenskih kanala iz multipleksa na ulazima u odgovarajuće multiplekse na izlazu.
 - Vremensko-prostorni-vremenski komutatori
- Frekvencijski komutatori
 - Veza se ostvaruje posredstvom frekvencijskih kanala.
 - Optički komutatori
- Hibridni komutatori predstavljaju kombinacije prethodnih tipova komutatora

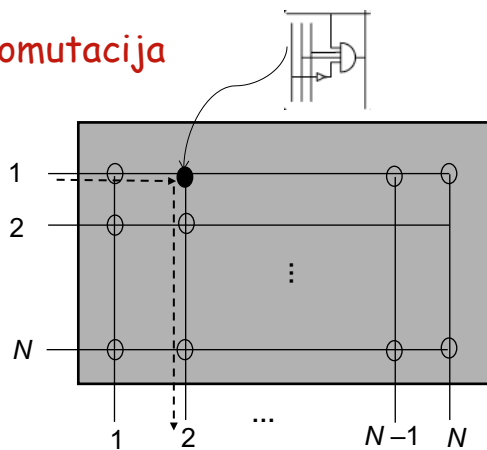
Uvod u komutacione sisteme 1-20

20

Istorija komutacionih sistema

Krosbar prostorna komutacija

- $N \times N$ matrica ukrasnih tačaka ili prekidača
- Povezuje ulaz sa izlazom zatvaranjem odgovarajuće ukrasne tačke
- Neblokirajuća jer se svaki ulaz može povezati na slobodni izlaz
- Kompleksnost: N^2 ukrasnih tačaka

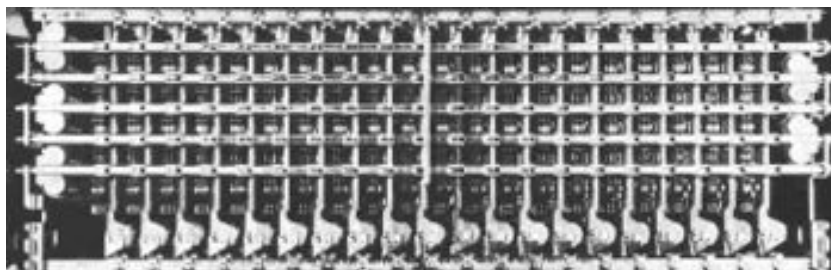


Uvod u komutacione sisteme 1-21

21

Istorija komutacionih sistema

Crossbar komutator (elektromehanički)



Uvod u komutacione sisteme 1-22

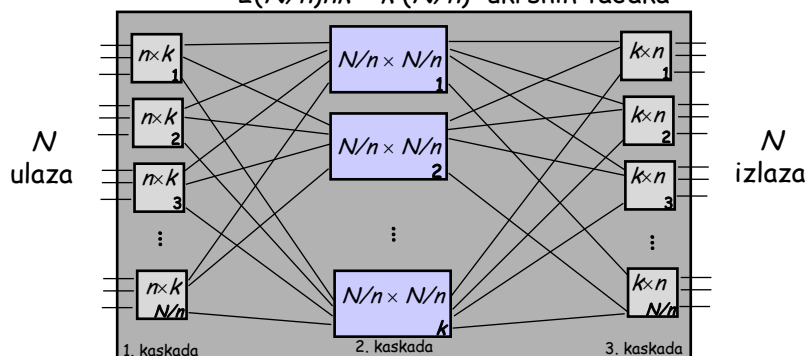
22

Istorija komutacionih sistema

Višekaskadni prostorni komutator

- Veliki komutator se pravi od više kaskada malih komutatora
- n ulaza komutatora prve kaskade zajednički koriste k puteva kroz krosbar međukomutatore
- Veliko k (više krosbar međukomutatora) znači više puteva do izlaza
- 1950-tih, Clos je dao odgovor na pitanje, "Koliko krosbar međukomutatora je potrebno da bi komutator bio neblokirajući?"

$$2(N/n)nk + k(N/n)^2 \text{ ukrasnih tačaka}$$



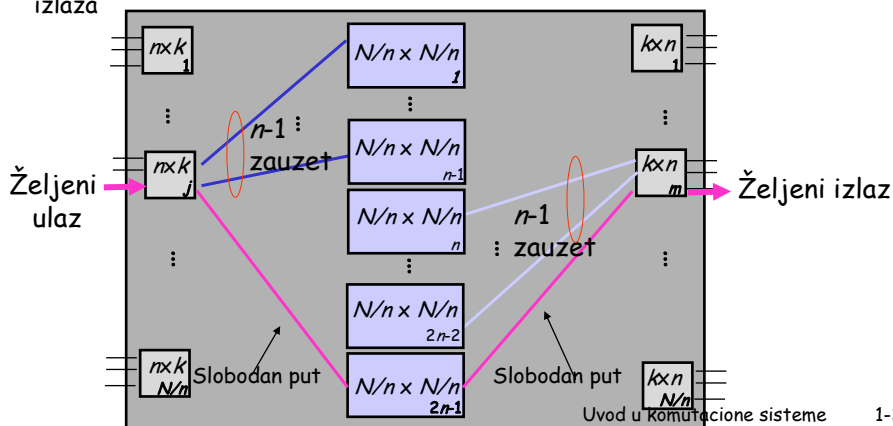
Uvod u komutacione sisteme 1-23

23

Istorija komutacionih sistema

Klosov neblokirajući uslov

- Zahtijeva vezu između posljednjeg ulaza proizvoljnog komutatora j do posljednjeg izlaza proizvoljnog izlaznog komutatora m
- Najgori slučaj: Svi drugi ulazi ulaznog komutatora j su zauzeli prvih $n-1$ međukomutatora i svi drugi izlazi izlaznog komutatora m su zauzeli sledećih $n-1$ međukomutatora
- Ako je $k=2n-1$, postoji još jedan slobodan put od željenog ulaza do željenog izlaza



Uvod u komutacione sisteme 1-24

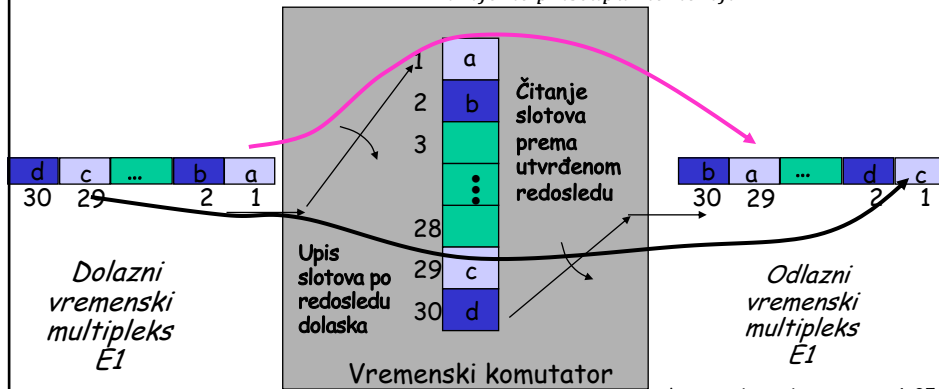
24

Istorija komutacionih sistema

Vremenska komutacija

- Upis bajtova dolaznog vremenskog multipleksa u memoriju
- Čitanje bajtova po adekvatnom permutovanom redosledu u odlazni vremenski multipleks

□ $Maksimalan\ broj\ slotova = \frac{125\ \mu s}{2 \cdot vrijeme\ pristupa\ memoriji}$

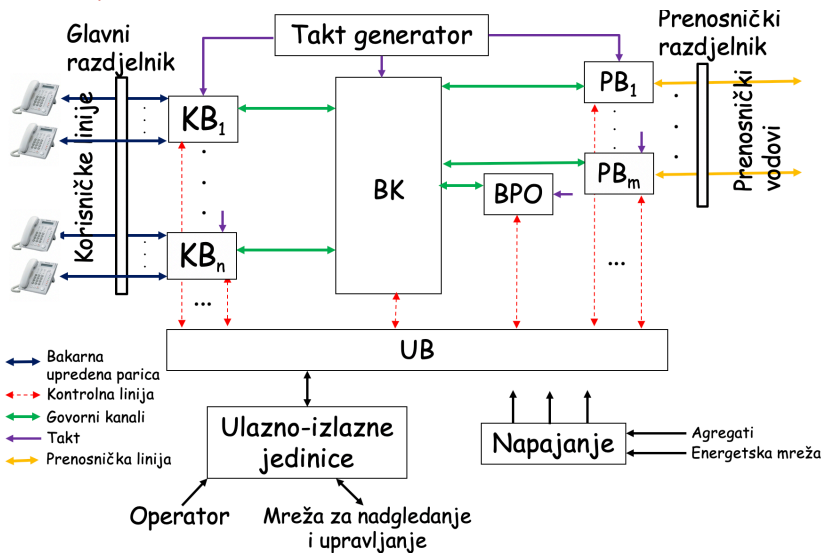


Uvod u komutacione sisteme 1-25

25

Istorija komutacionih sistema

Telefonski komutacioni sistem

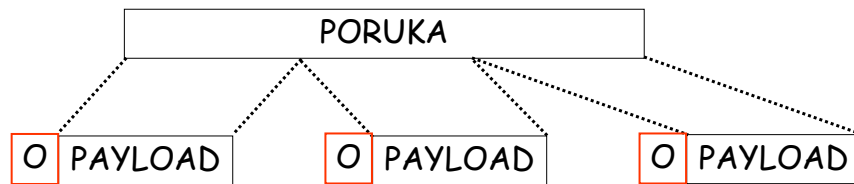


Uvod u komutacione sisteme 1-26

26

Istorija komutacionih sistema

Komutacija paketa



- PAYLOAD (korisni dio paketa)
- OVERHEAD ili ZAGLAVLJE (kontrolni podaci)
 - adresa pošiljaoca,
 - adresu primaoca,
 - broj segmenta poruke,
 - kod za pronalaženje greške,
 - ...

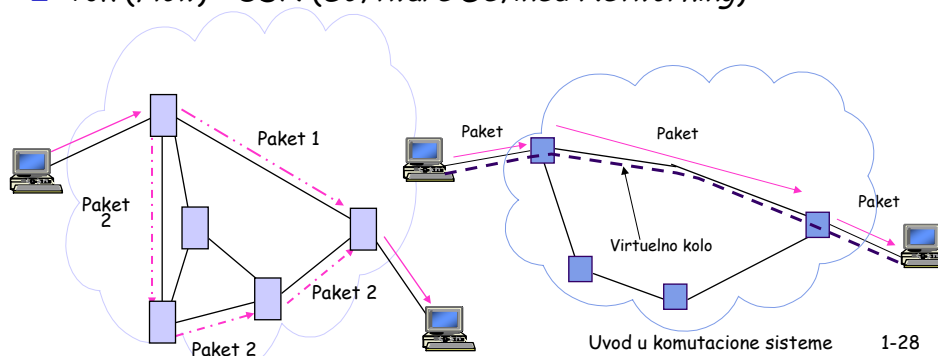
Uvod u komutacione sisteme 1-27

27

Istorija komutacionih sistema

Tipovi komutacije paketa

- Datagram - Internet
- Virtuelni kanal (kolo) - X.25, ATM, ...
- Labela - MPLS (*Multi Protocol Label Switching*)
- Tok (*Flow*) - SDN (*Software Defined Networking*)

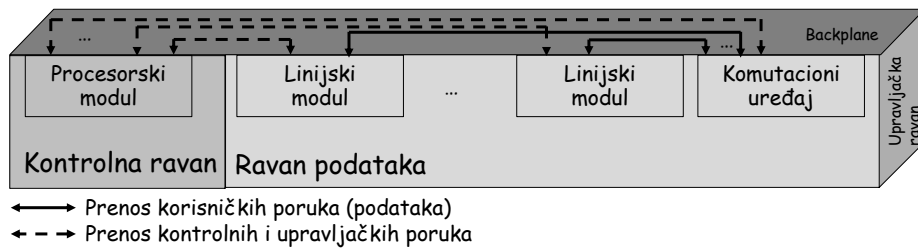


Uvod u komutacione sisteme 1-28

28

Istorija komutacionih sistema

Komutator paketa

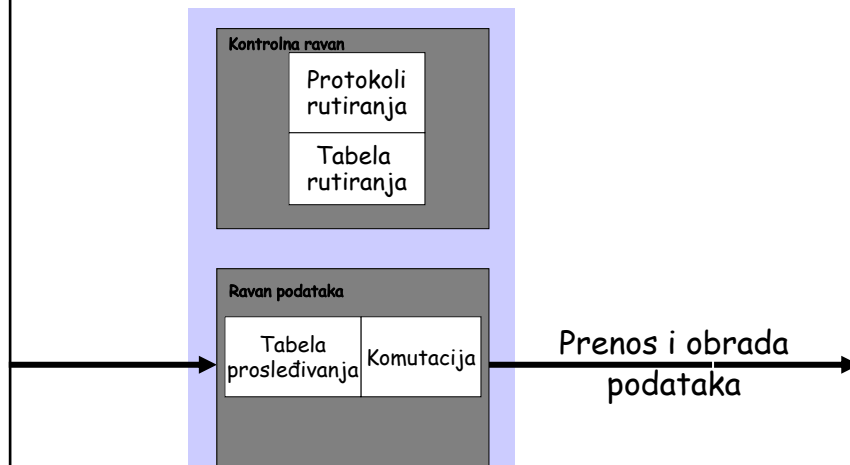


Uvod u komutacione sisteme 1-29

29

Istorija komutacionih sistema

Ruter



Uvod u komutacione sisteme 1-30

30

Istorija komutacionih sistema

Funkcije rutera



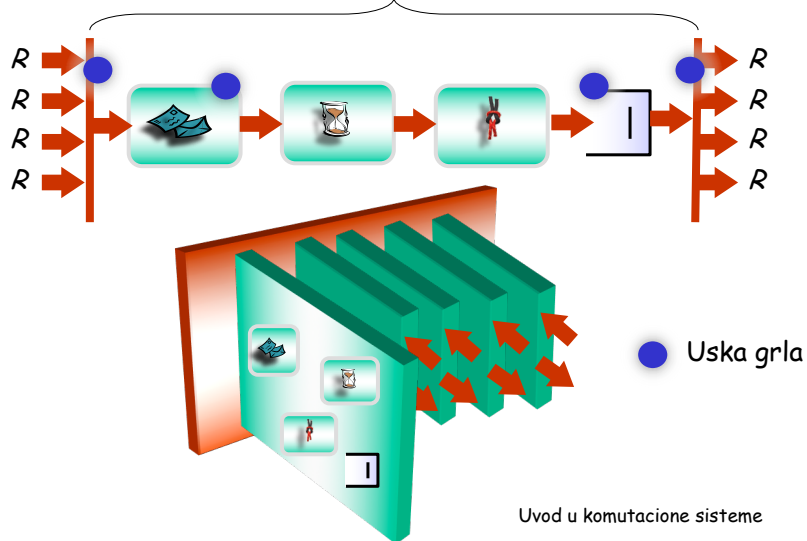
Uvod u komutacione sisteme 1-31

31

Istorija komutacionih sistema

Rani dani: Modifikovani računar

Mora funkcionisati brzinom $N \times R$

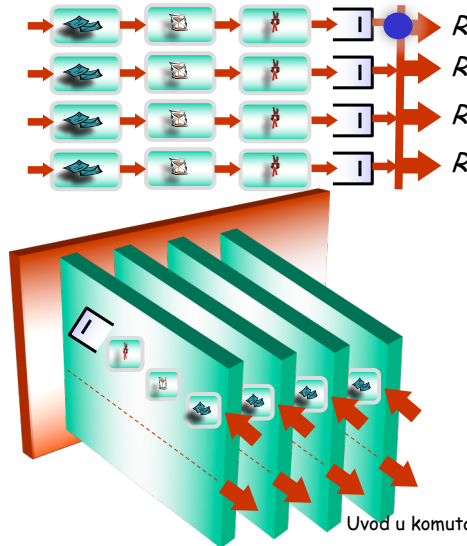


Uvod u komutacione sisteme 1-32

32

Istorija komutacionih sistema

Druga generacija rutera

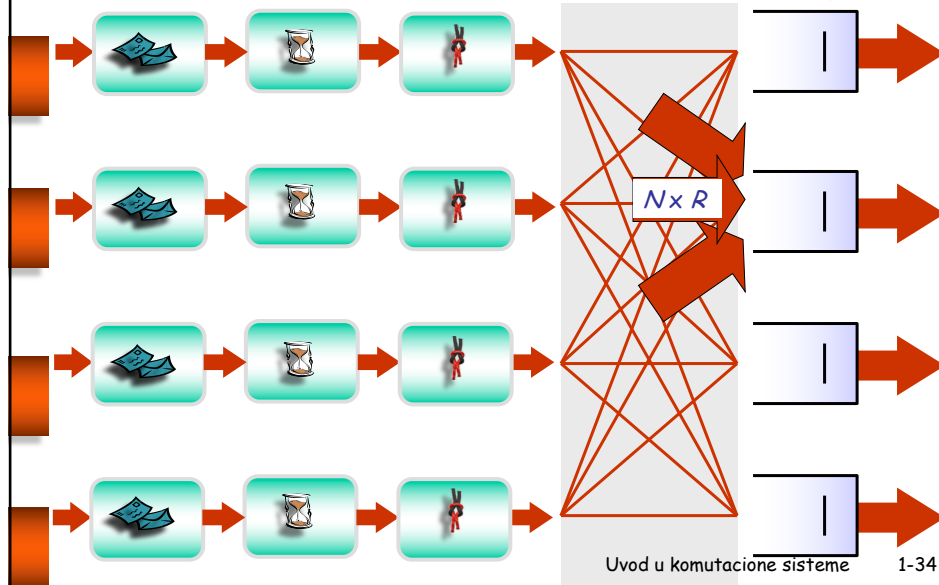


Uvod u komutacione sisteme 1-33

33

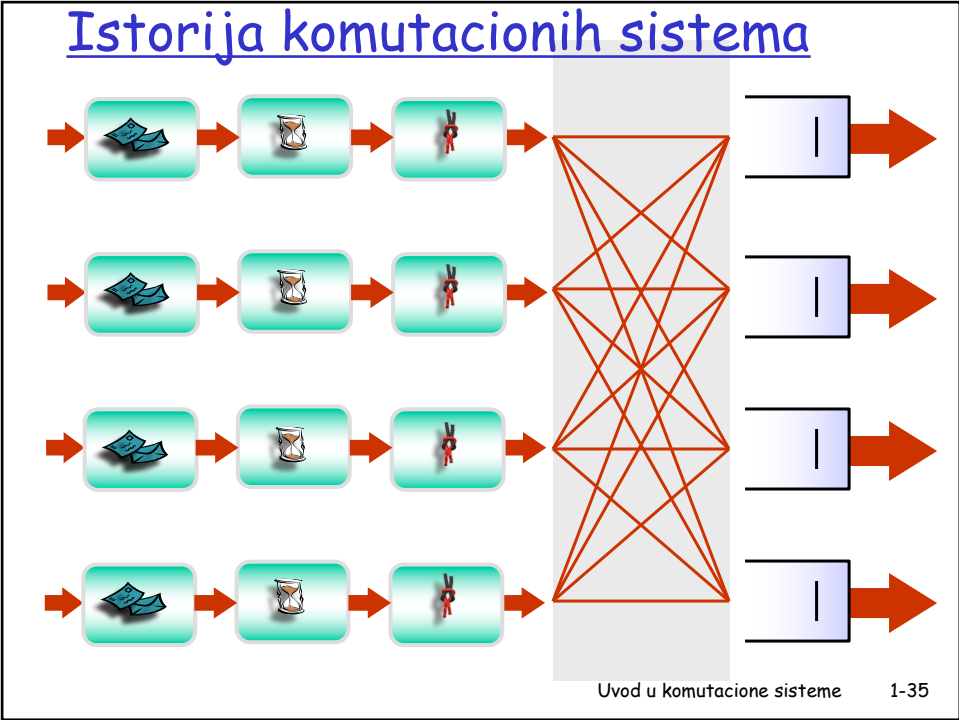
Istorija komutacionih sistema

Ruter treće generacije: prostorna komutacija

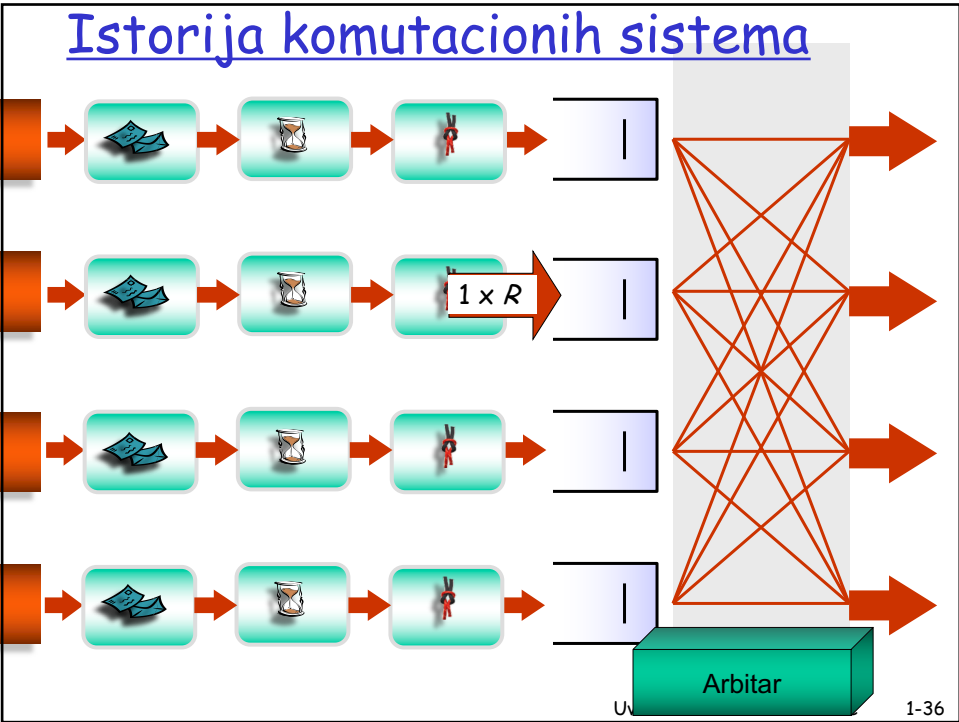


Uvod u komutacione sisteme 1-34

34



35

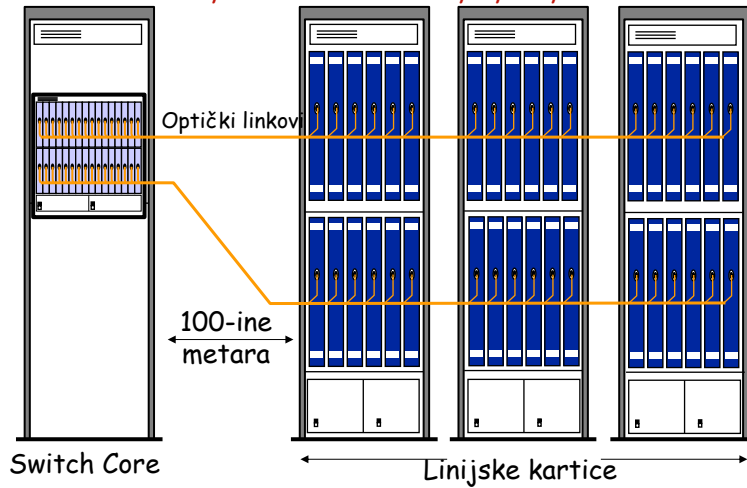


36

Istorija komutacionih sistema

Četvrta generacija Ruter/Komutatora

Optika unutar rutera po prvi put!

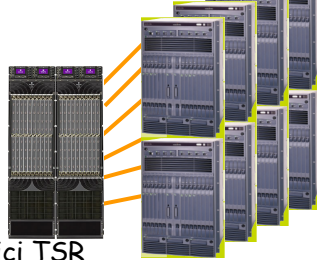


Uvod u komutacione sisteme 1-37

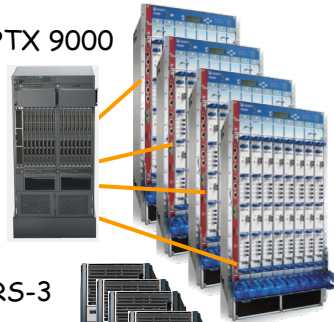
37

Istorija komutacionih sistema

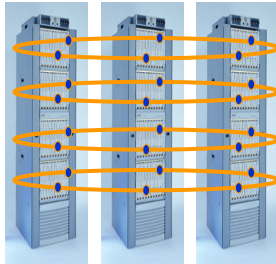
Alcatel 7950 XRS-40



Juniper PTX 9000



Avici TSR



Cisco CRS-3

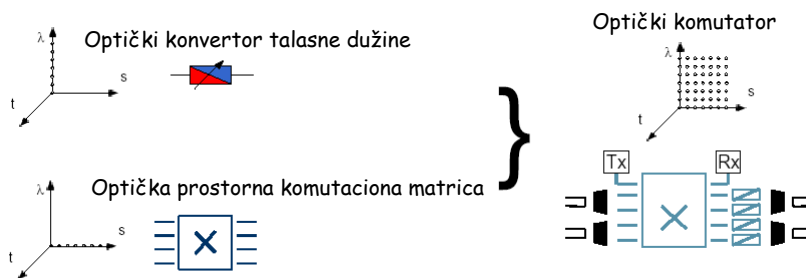


Uvod u komutacione sisteme 1-38

38

Istorija komutacionih sistema

Optički komutatori ili komutatori talasnih dužina



Uvod u komutacione sisteme 1-39

39

Istorija komutacionih sistema

Optička komutacija

- Optički signal koji se prenosi preko vlakna može nositi veliku količinu informacija (Pb/s).
- Obrada optičkog signala je veoma ograničena
 - Vrlo visoka cijena i nepodesnost za rad opreme.
 - Optička komutacija paketa je veoma atraktivno polje istraživanja.
- Optičko-električna konverzija je skupa
 - Maksimalna elektronska brzina \ll Tb/s
 - Paralelna elektronska obrada & visoka cijena
- Zbog toga je trend ka optičkoj komutaciji kola u jezgru mreže

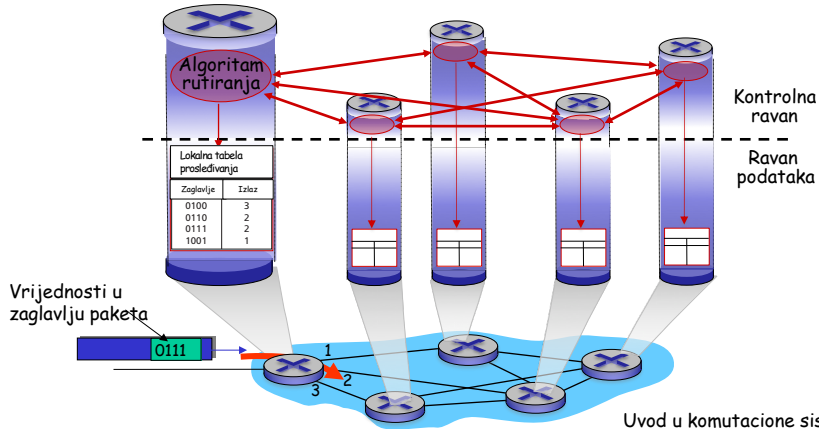
Uvod u komutacione sisteme 1-40

40

Budućnost komutacionih sistema

Distribuirana kontrolna ravan

Individualni algoritmi rutiranja se izvršavaju samostalno u svakom ruteru i interaguju u kontrolnoj ravni

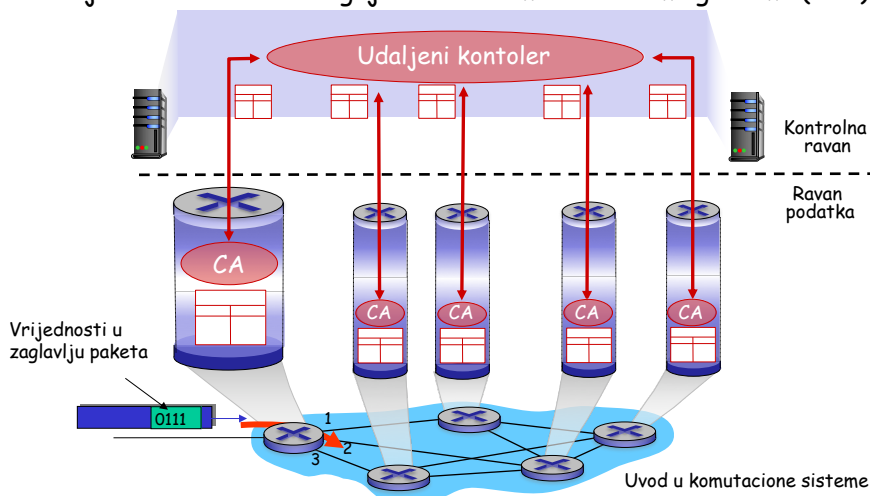


41

Budućnost komutacionih sistema

Centralizovana kontrolna ravan

Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)

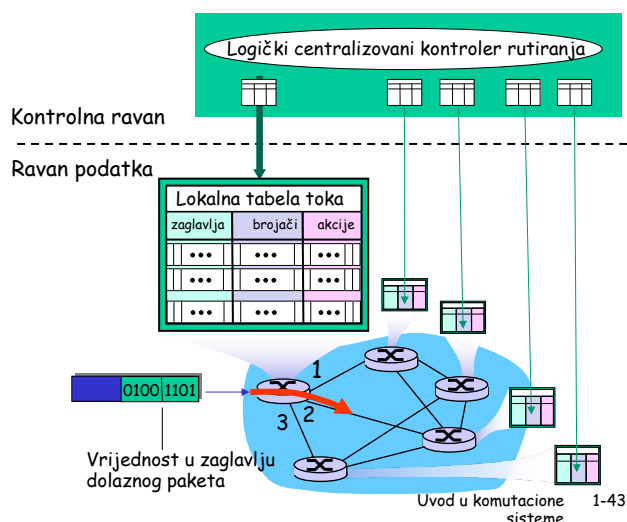


42

Budućnost komutacionih sistema

Generalizovano prosleđivanje i SDN

Svaki ruter sadrži *tabelu toka* koju izračunava i distribuira logički centralizovan kontroler rutiranja



43

Budućnost komutacionih sistema

Cloud computing

Definicija (USA National Institute of Standards and Technologies)

- *Cloud computing is a model for enabling convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.*

Primjena

- Cloud computing
- Cloud storage
- Web services

Resursi

- Hiljade servera

Uvod u komutacione sisteme 1-44

44

Budućnost komutacionih sistema

Cloud computing

Modeli

- *Software as Service (SaaS)*
 - Obezbeđuje preko web pretraživača pristup aplikacijama na zahtjev bez kontrole nad mrežom operativni sistemima, serverima,...
 - Stanje pristupa aplikaciji se nadzire kada se pristupa sa različitih uređaja
 - Office 365, Google Docs, Gmail, Dropbox, iCloud
- *Platform as Service (PaaS)*
 - Obezbeđuje resurse poput operativnih sistema i okvira za razvoj softvera radi razvoja i implementacije aplikacija preko Interneta
 - Korisnik unosi podatke, piše kod preko odgovarajućeg API-ja, specificira broj uređaja radi paralelnog izvršavanja i aktivira izvršavanje programa
 - Google App Engine (Go, Java, Python, PHP), Microsoft Windows Azure (C#, Visual Basic, C++), Amazon Elastic Map Reduce (AWS EMS)
- *Infrastructure as Service (IaaS)*
 - Obezbeđuje infrastrukturne resurse na zahtjev najčešće u vidu Virtuelnih mašina
 - Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), Microsoft Windows Azure, Google Compute Engine

Uvod u komutacione sisteme 1-45

45

Budućnost komutacionih sistema

Cloud computing

Virtuelne mašine

- *Mogući scenariji*
 - OS image (Linux mašina)
 - LAMP image (Linux + Apache + MySQL + PHP)
- *Implementacija se ogleda u postojanju desetine virtuelnih mašina na istom serveru pri čemu svaka ima svoje IP i MAC adrese*
- *VM migracija (seljenje VM sa jednog hardvera na drugi) obezbeđuje:*
 - Konsolidaciju resursa gašenjem servera koji se ne koriste
 - Balansiranje opterećenja
 - Usmjeravanje zahtjeva prema serverima sa više resursa
 - Izbjegavanje hot-spotova
 - Adaptaciju različitim cijenama energije

Uvod u komutacione sisteme 1-46

46

Budućnost komutacionih sistema

5G

Očekivane performanse

- Propusnost po korisniku 100 Mb/s
- Maksimalna brzina prenosa 20 Gb/s
- Mobilnost do 500 km/h
- Kašnjenje 1ms

Ključne tehnologije

- Aplikacije u cloudu
- Kontrola mreže u cloudu - *Software Defined Network (SDN)* i *Network Function Virtualization (NFV)*
- Nove pristupne telekomunikacione tehnologije 5G NR (*New Radio*)
- *Multi-access Edge Computing (MEC)*
 - Radi smanjenja kašnjenja, *cloud-computing* resursi su prisutni na baznoj stanici celularne mreže
 - Nema potrebe za udeljenim *cloud-om* čime se smanjuje kašnjenje i zagušenje mreže
 - Mrežni operatori postaju PaaS/IaaS operatori

Uvod u komutacione sisteme 1-47

47

Budućnost komutacionih sistema

Data centri

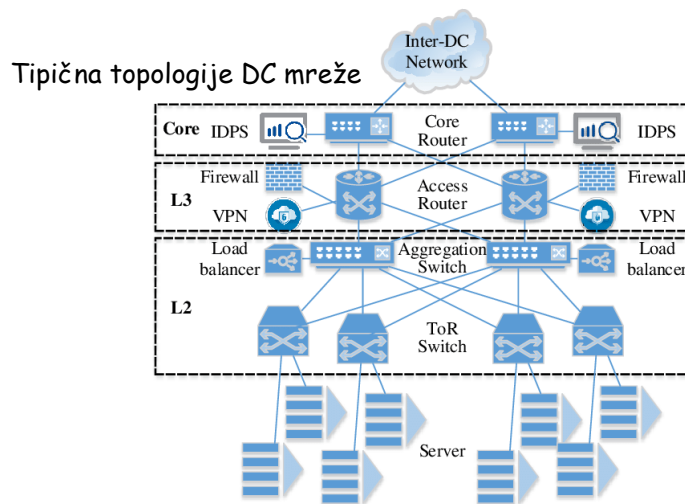
- Fizička infrastruktura koja je potrebna sa podršku cloud computingu
- Kompletna infrastruktura je locirana u prostoriji, zgradi ili susjednim zgradama
- Serverski i storage resursi
- Komunikacioni resursi (komutatori, ruteri, firewalli, balanser saobraćaja, oprika, bakarne upredene parice,...)
- Infrastruktura (Rekovi, napajanje, sistemi hlađenja,...)
- Skalabilnog dizajna radi podrške velikog broja servera
- Minimizacija troškova u smislu osnovnih uređaja
- Modularnost kroz korišćenje jednostavnih modula
- Pouzdanost
- Mogućnost brze implementacije novih tehnologija

Uvod u komutacione sisteme 1-48

48

Budućnost komutacionih sistema

Data centri



Uvod u komutacione sisteme 1-49