

Komutacioni sistemi

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

O čemu se radi?

- ❑ Predmet koji se bavi komutacionim sistemom kao najvažnijim elementom svake telekomunikacione mreže.
- ❑ Radi se o jednoj od ključnih 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

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%

Pregled kursa:

Pripremne nedjelje	Priprema i upis semestra
I nedjelja	Uvod
II nedjelja	Multipleksiranje.
III nedjelja	Koncepti digitalne telefonske komutacije kola
IV nedjelja	Komutacija paketa
V nedjelja	Komutacioni uređaji (baferovanje na ulazu i izlazu)
VI nedjelja	Komutacioni uređaji (VOQ i CQ)
VII nedjelja	Rutiranje. Ruter.
VIII nedjelja	Kolokvijum
IX nedjelja	Optička komutacija. OTN
X nedjelja	MPLS. SDN. OpenFlow.
XI nedjelja	IP Multimedia subsystem (IMS)
XII nedjelja	Signalizacija u IMS-u
XIII nedjelja	Komutacioni sistemi u 5G 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.

Pregled kursa :

Seminarski rad

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

Pitanja, komentari, ... ???

Koncepti telekomunikacione mreže

Struktura telekomunikacione mreže

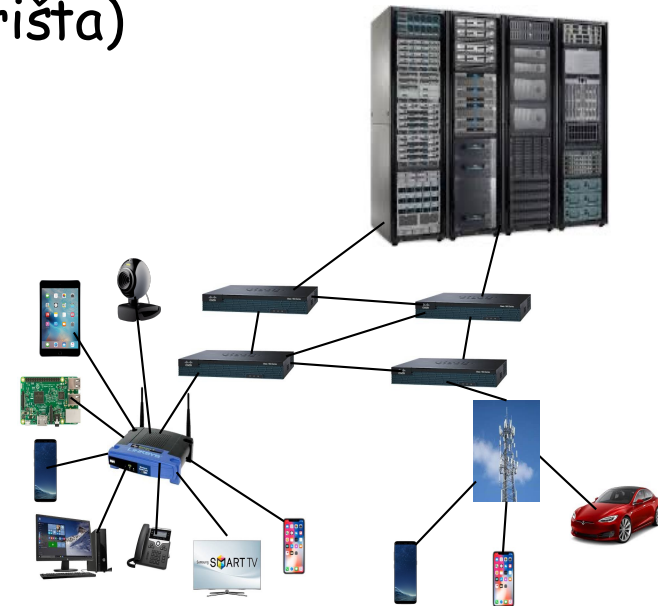
- ❑ Oprema (hardware & software)
- ❑ Infrastruktura (kanalizacija, stubovi, energetske instalacije, kablovi, objekti,...)



Koncepti telekomunikacione mreže

Elementi telekomunikacione mreže:

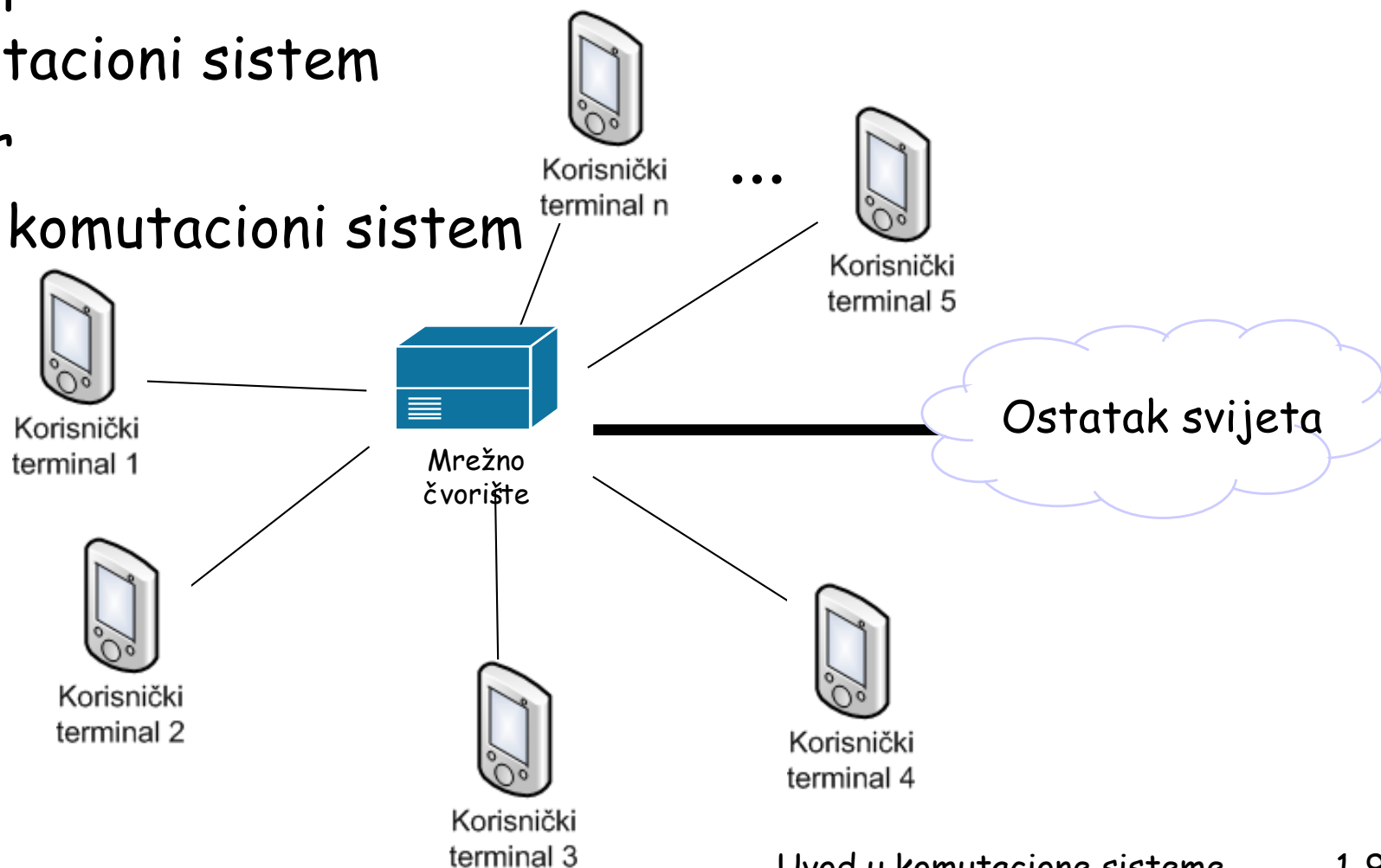
- ❑ Korisnički terminali (obezbjeđuju pristup korisnika telekomunikacionoj mreži)
- ❑ Telekomunikaciona pristupna mreža (obezbjeđuju povezivanje terminala na mrežn čvorište)
- ❑ Mrežna čvorišta (prosleđivanje informacije sa ulaza na izlaza i povezivanje sa drugim mrežnim čvorištima)
- ❑ Prenosni sistemi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



Osnovni pojmovi

Mrežno čvorište

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



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 proslijedi (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*

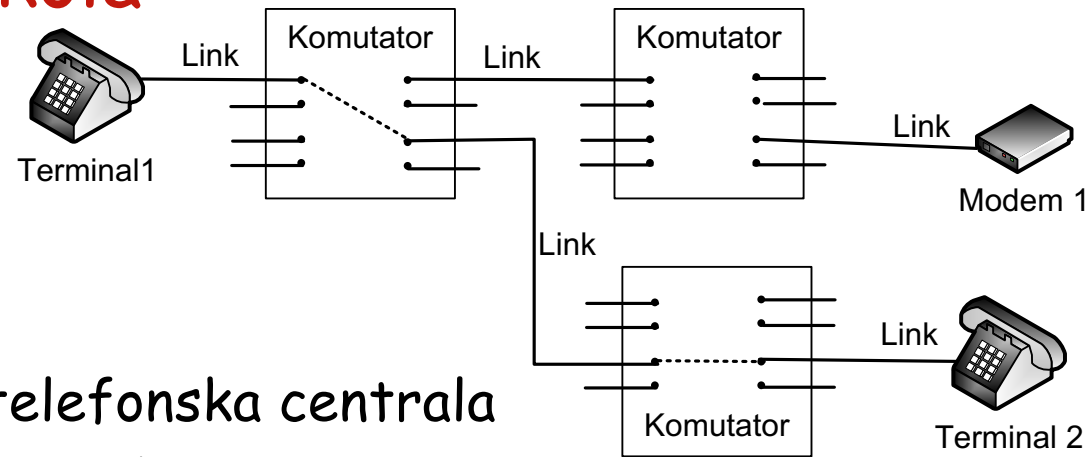
Osnovni pojmovi

ITU-T definicija komutacije:

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

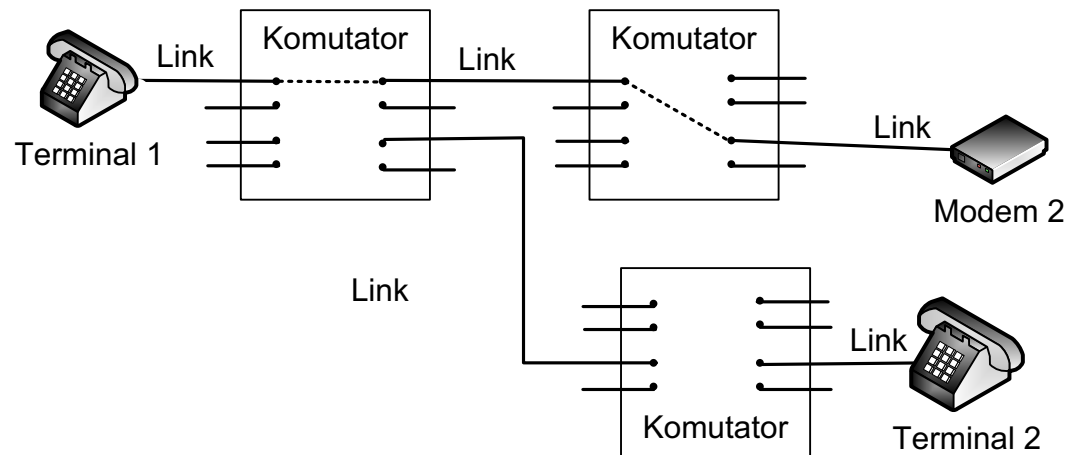
Osnovni pojmovi

Komutacija kola



a)

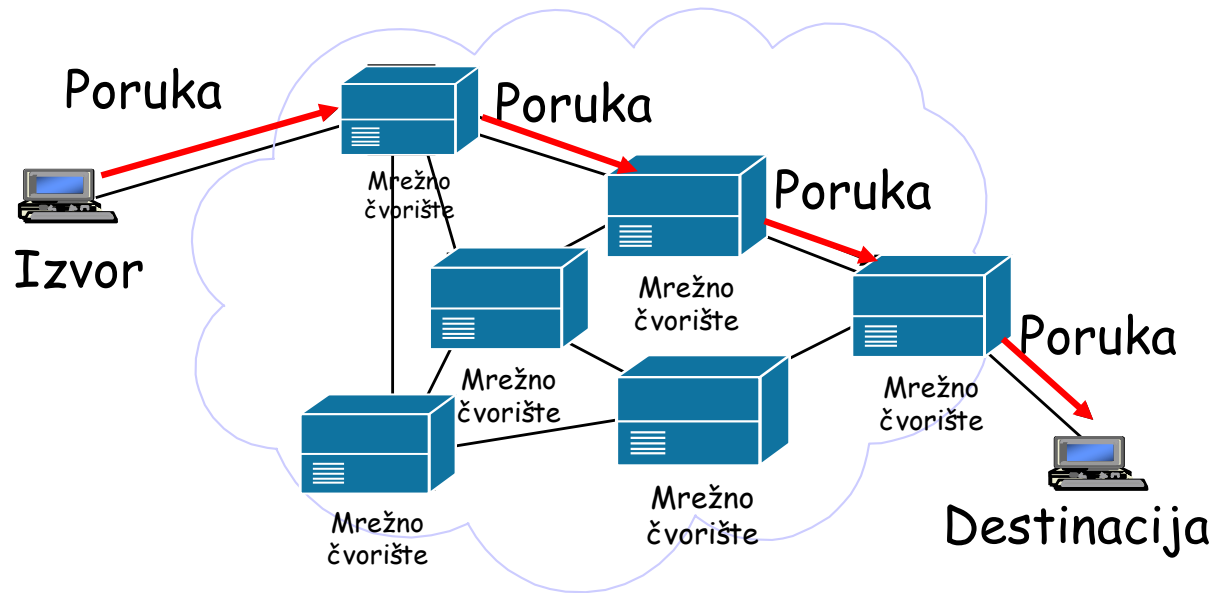
Komutator kola = telefonska centrala
Terminal = telefon, modem,...



b)

Osnovni pojmovi

Komutacija poruka



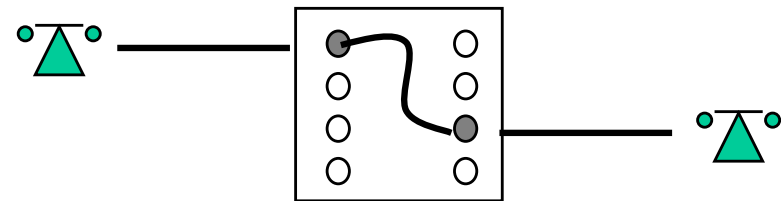
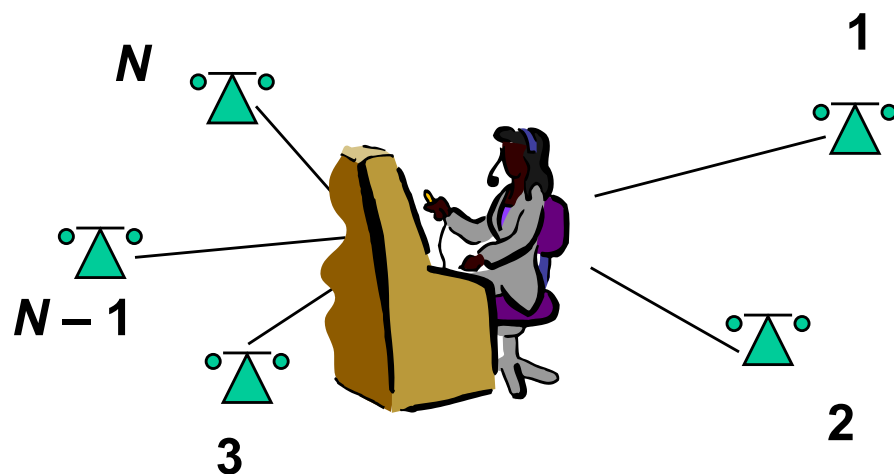
Istorija komutacionih sistema

- ❑ 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

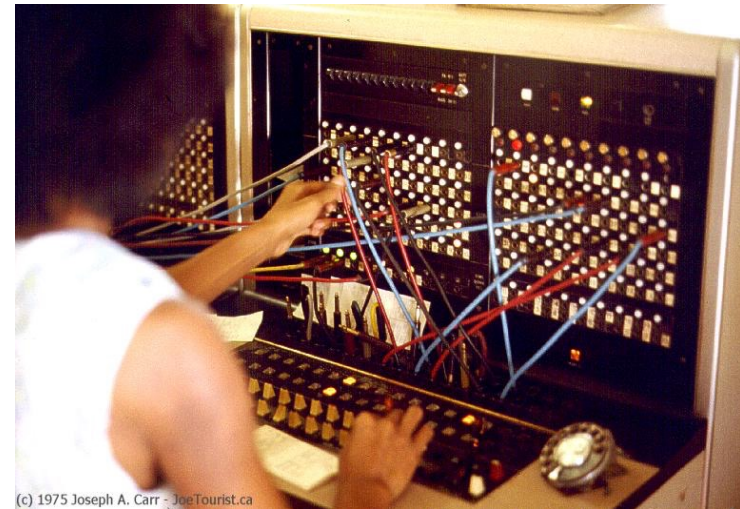
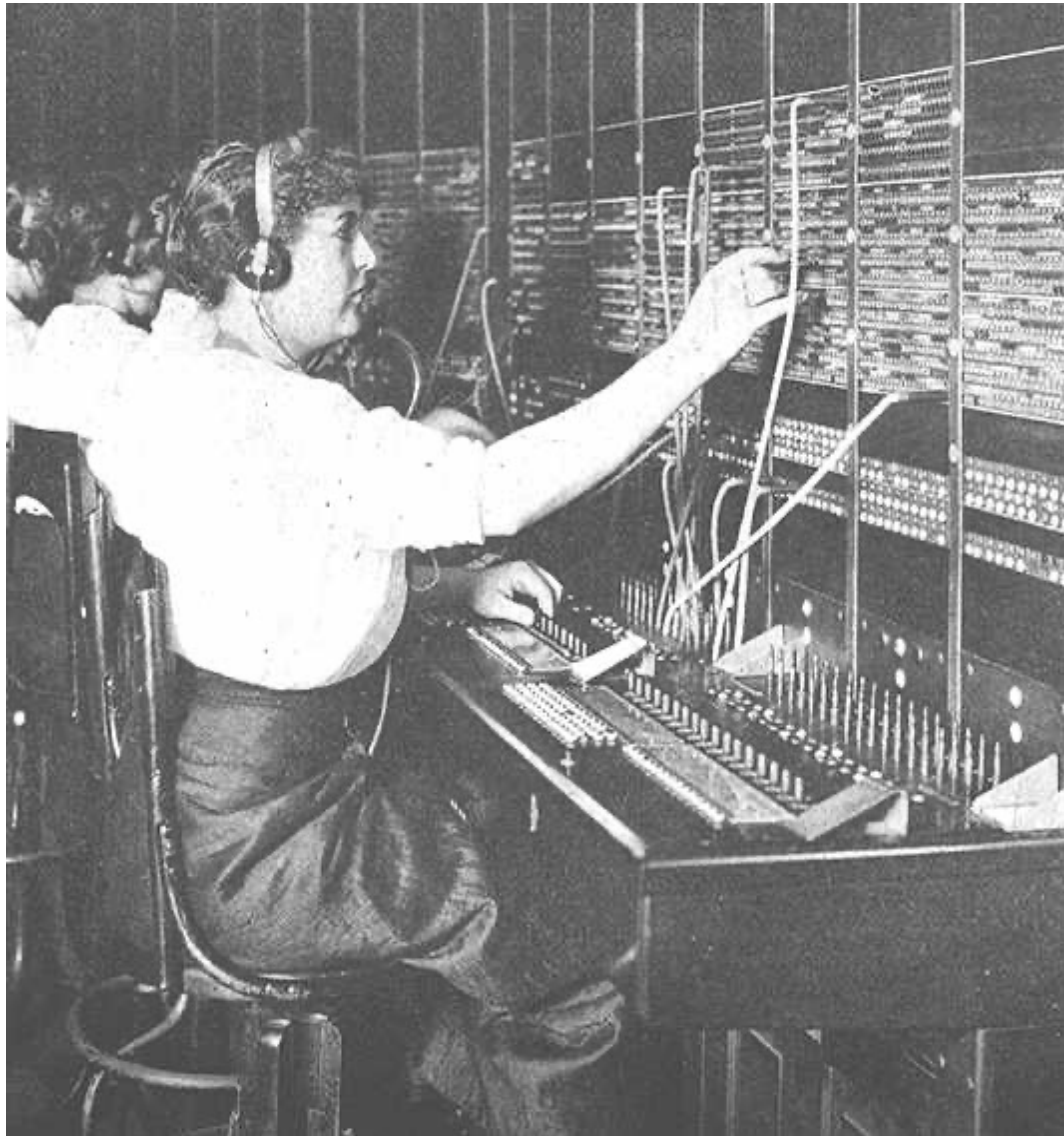
Istorija komutacionih sistema

Manuelni komutator

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



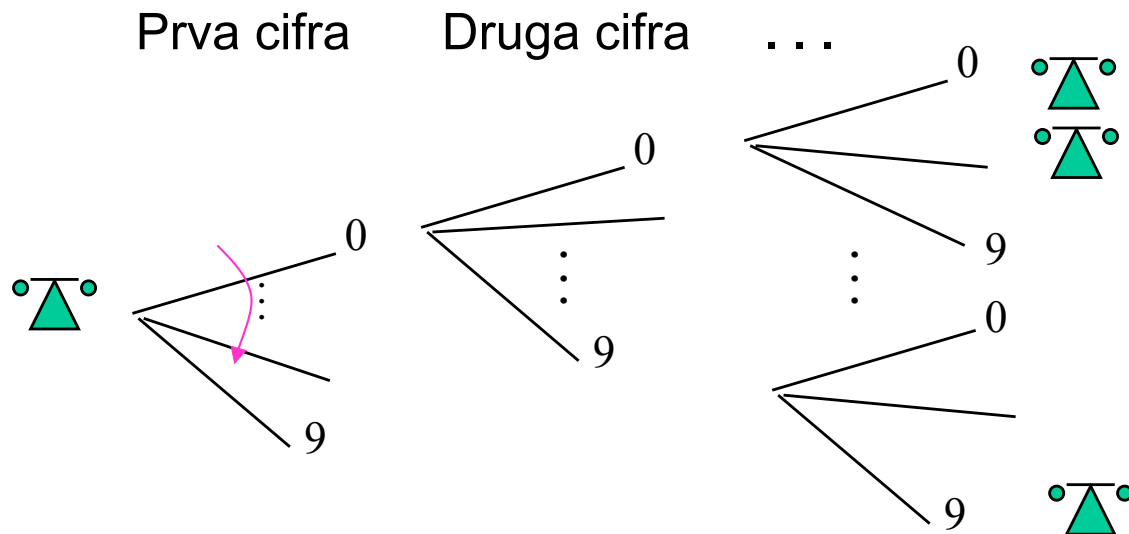
Istorija komutacionih sistema



Istorija komutacionih sistema

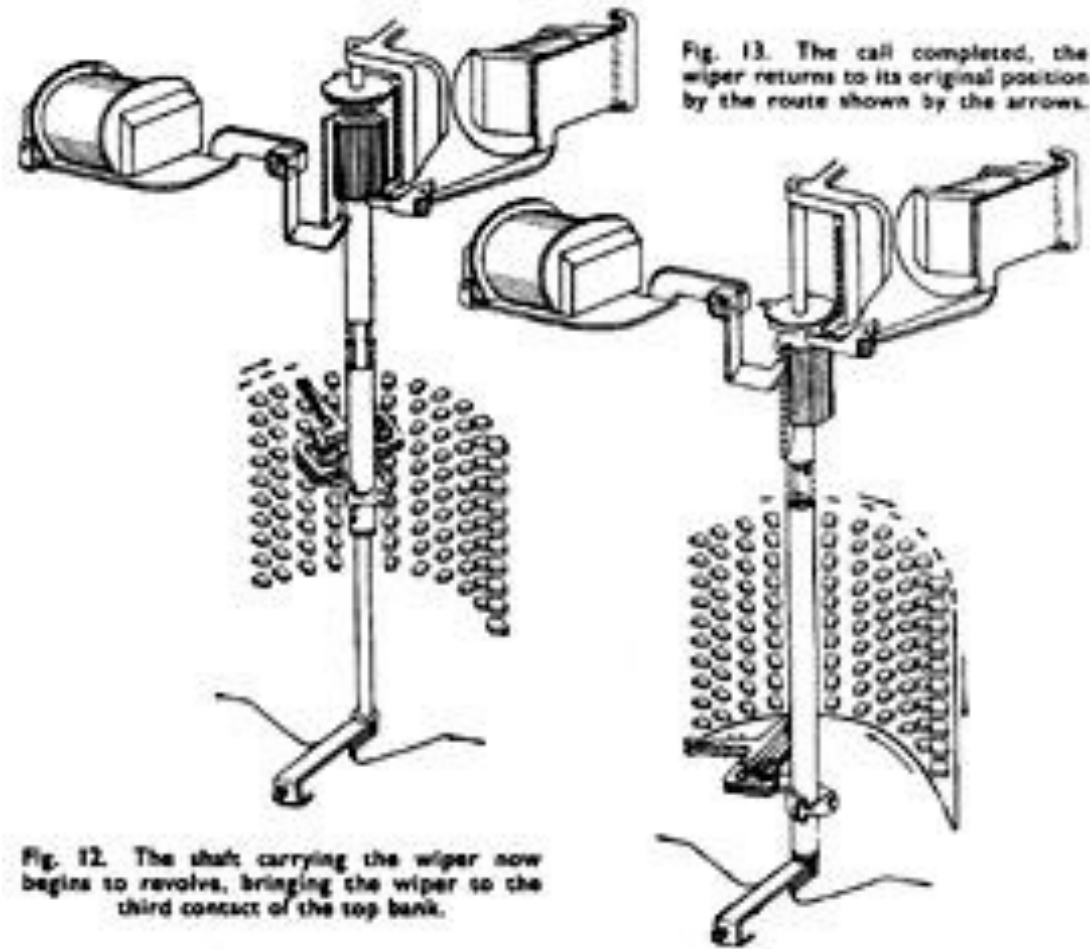
Automatski mehanički komutator

- ❑ 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
- ❑ Hijerahijska struktura mreže pojednostavljuje rutiranje
 - Kod oblasti, centrale, broj pretplatnika



Istorija komutacionih sistema

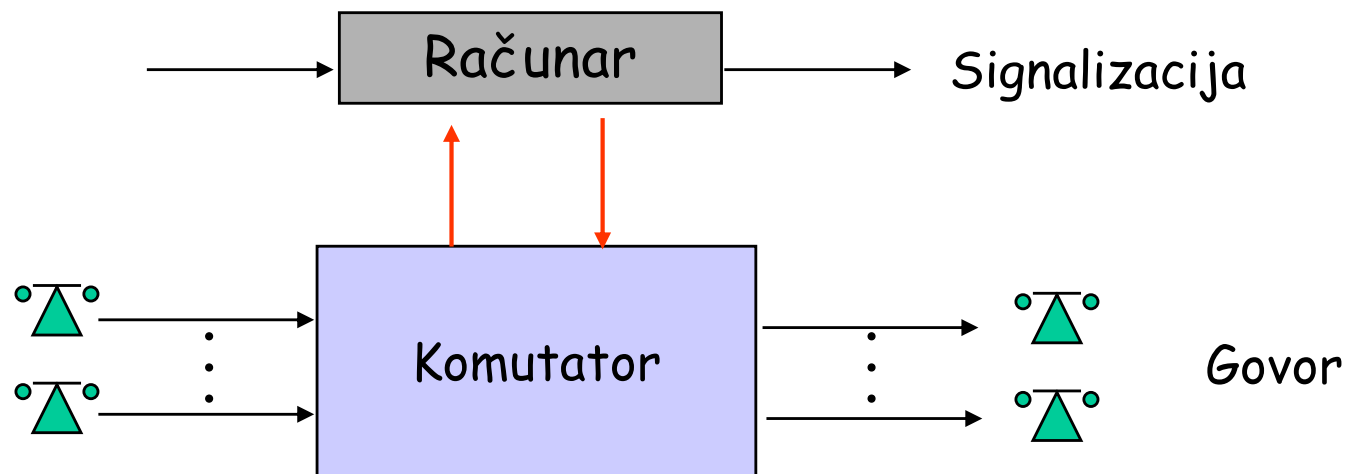
Strowger-ov komutator



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



Istorija komutacionih sistema

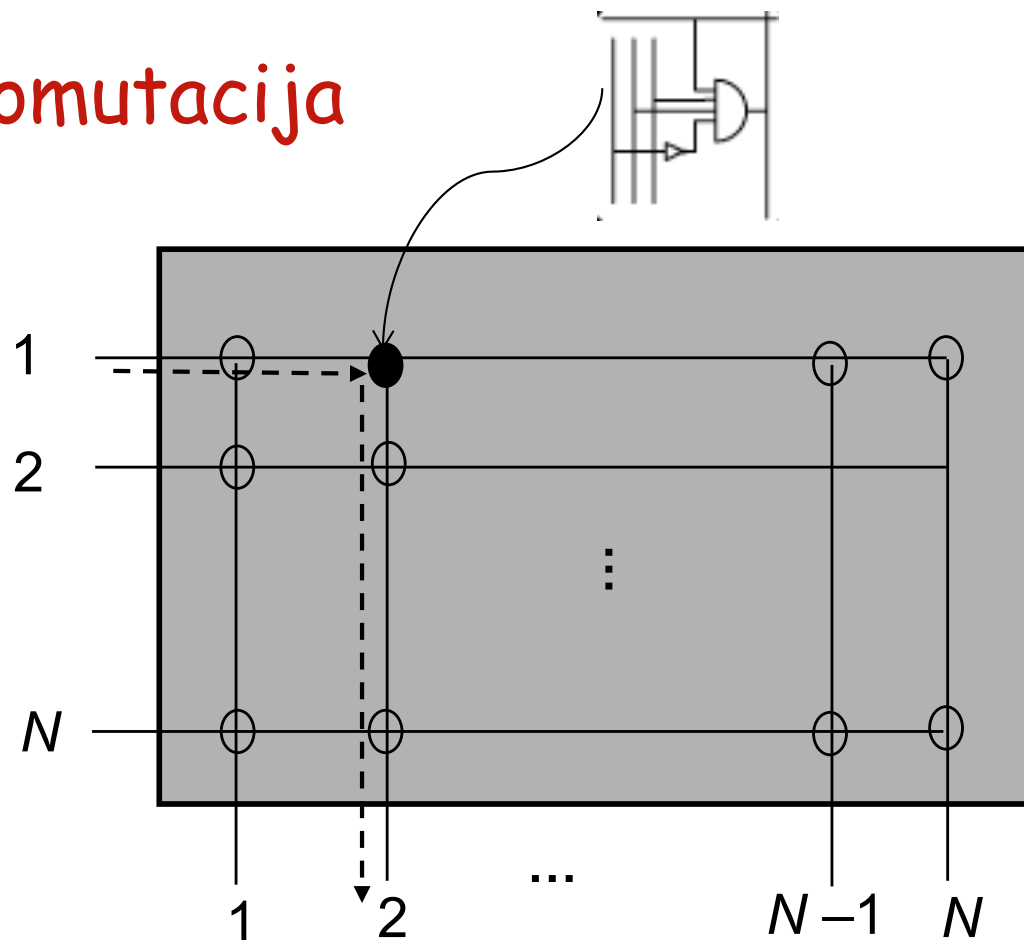
Klasifikacija komutatora kola

- ❑ 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

Istorija komutacionih sistema

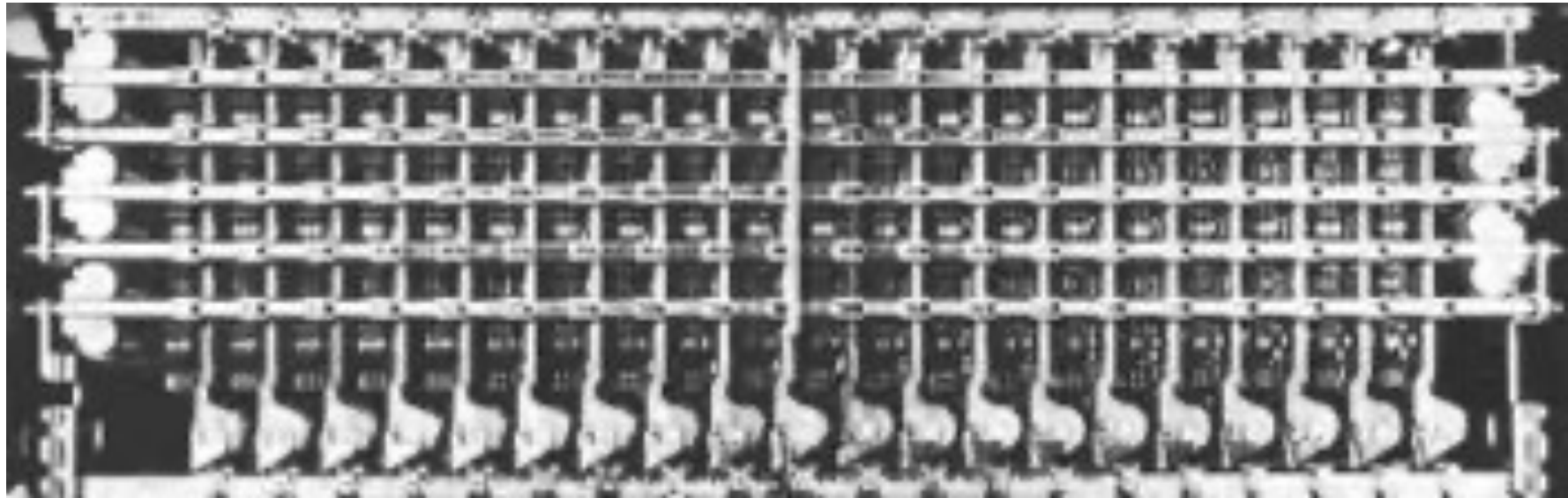
Krosbar prostorna komutacija

- $N \times N$ 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



Istorija komutacionih sistema

Crossbar komutator (elektromehanički)

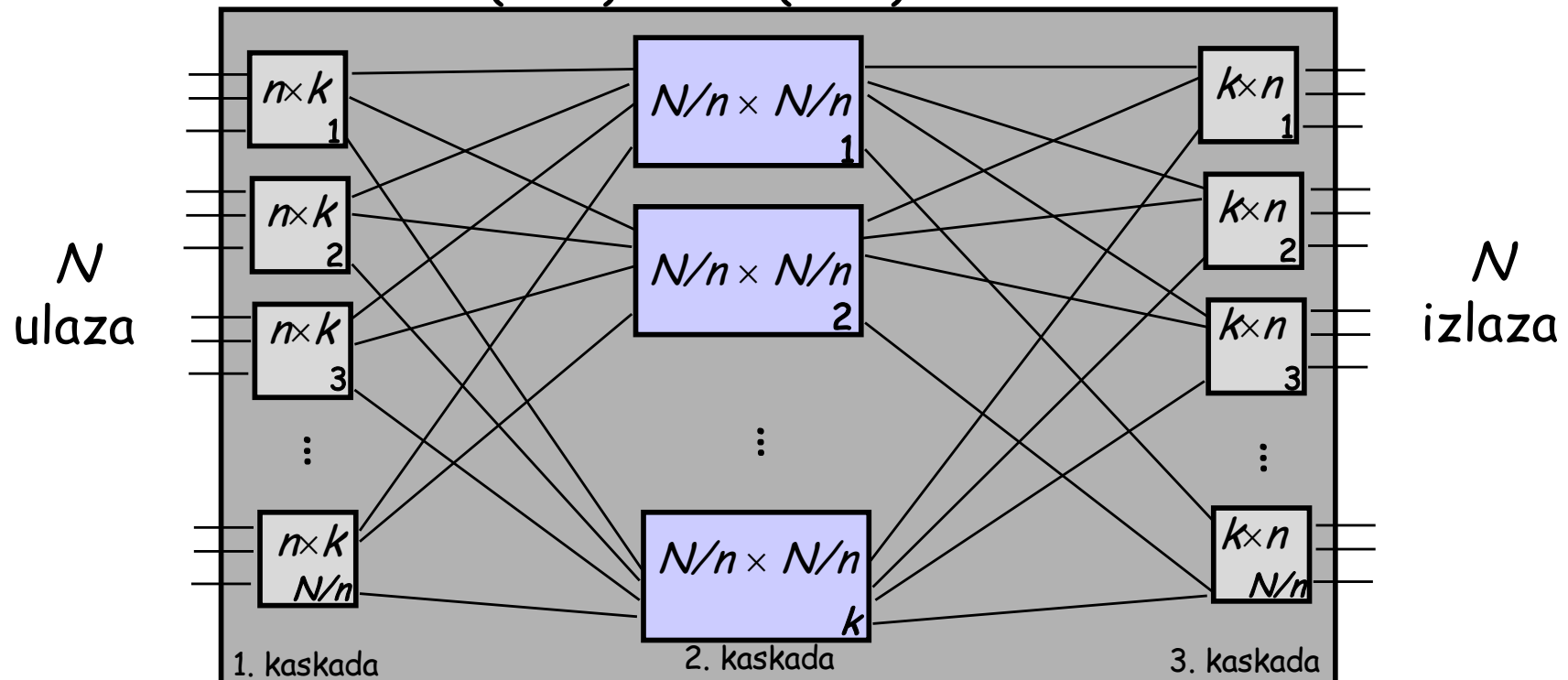


Istorija komutacionih sistema

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?”

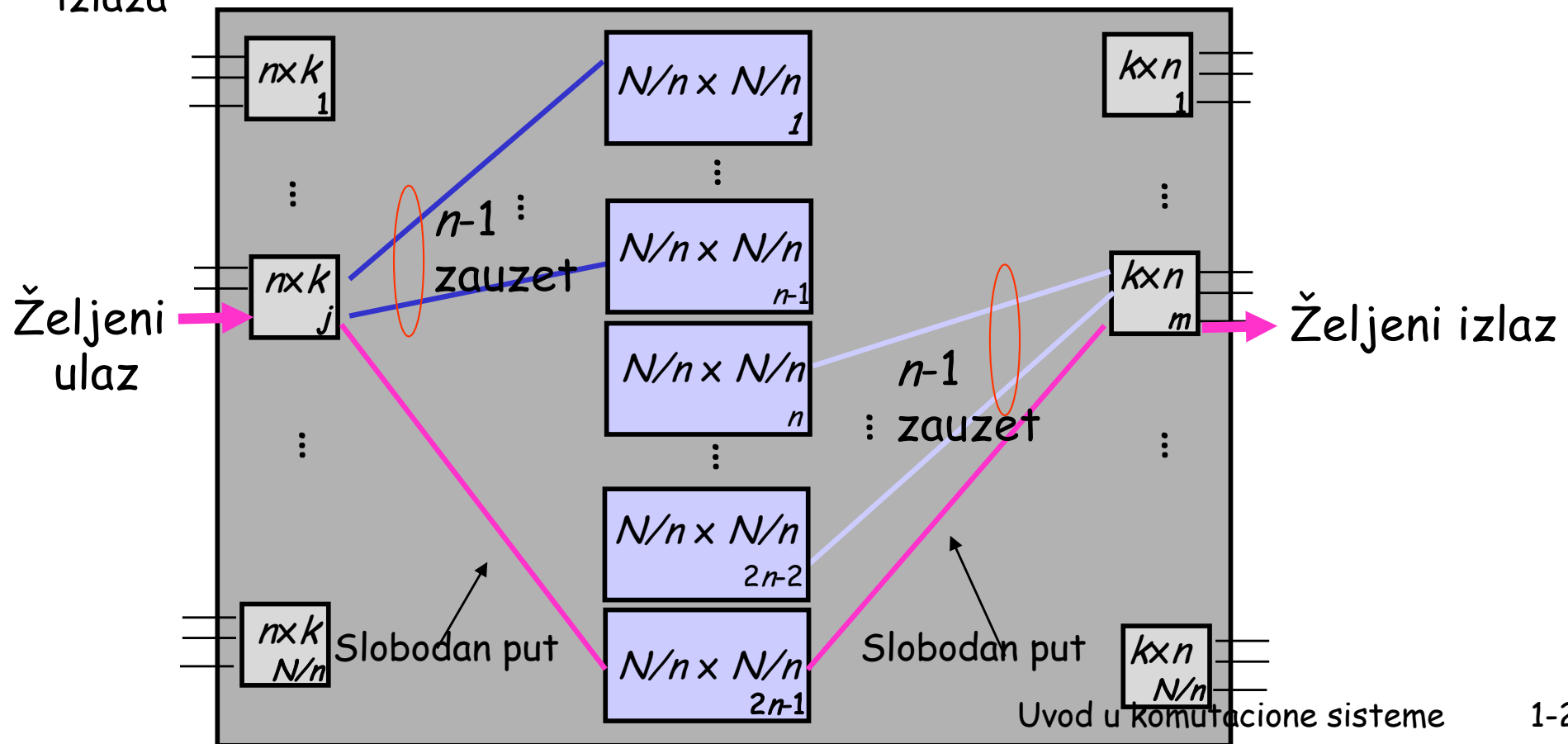
$$2(N/n)nk + k(N/n)^2 \text{ ukrasnih tačaka}$$



Istorija komutacionih sistema

Klosov neblokirajući uslov

- Zahtijeva vezu između poslednjeg ulaza proizvoljnog komutatora j do poslednjeg 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

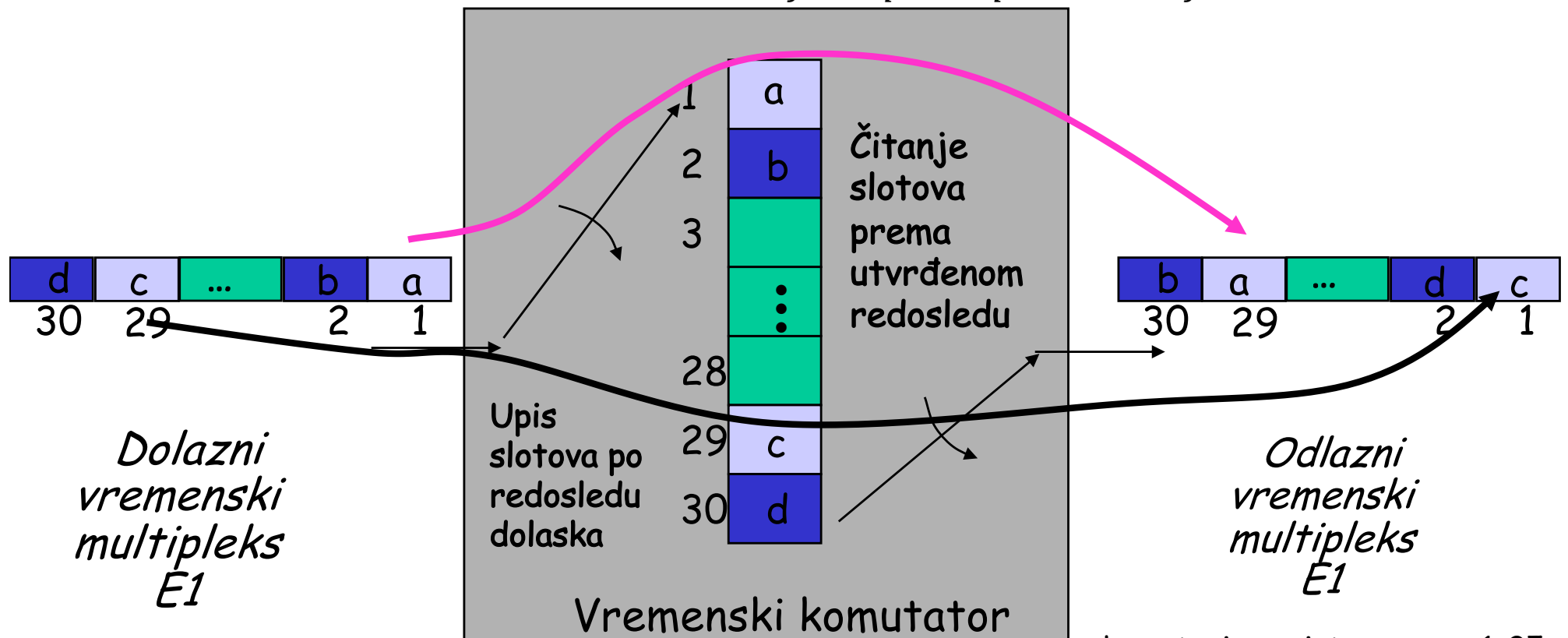


Istorija komutacionih sistema

Vremenska komutacija

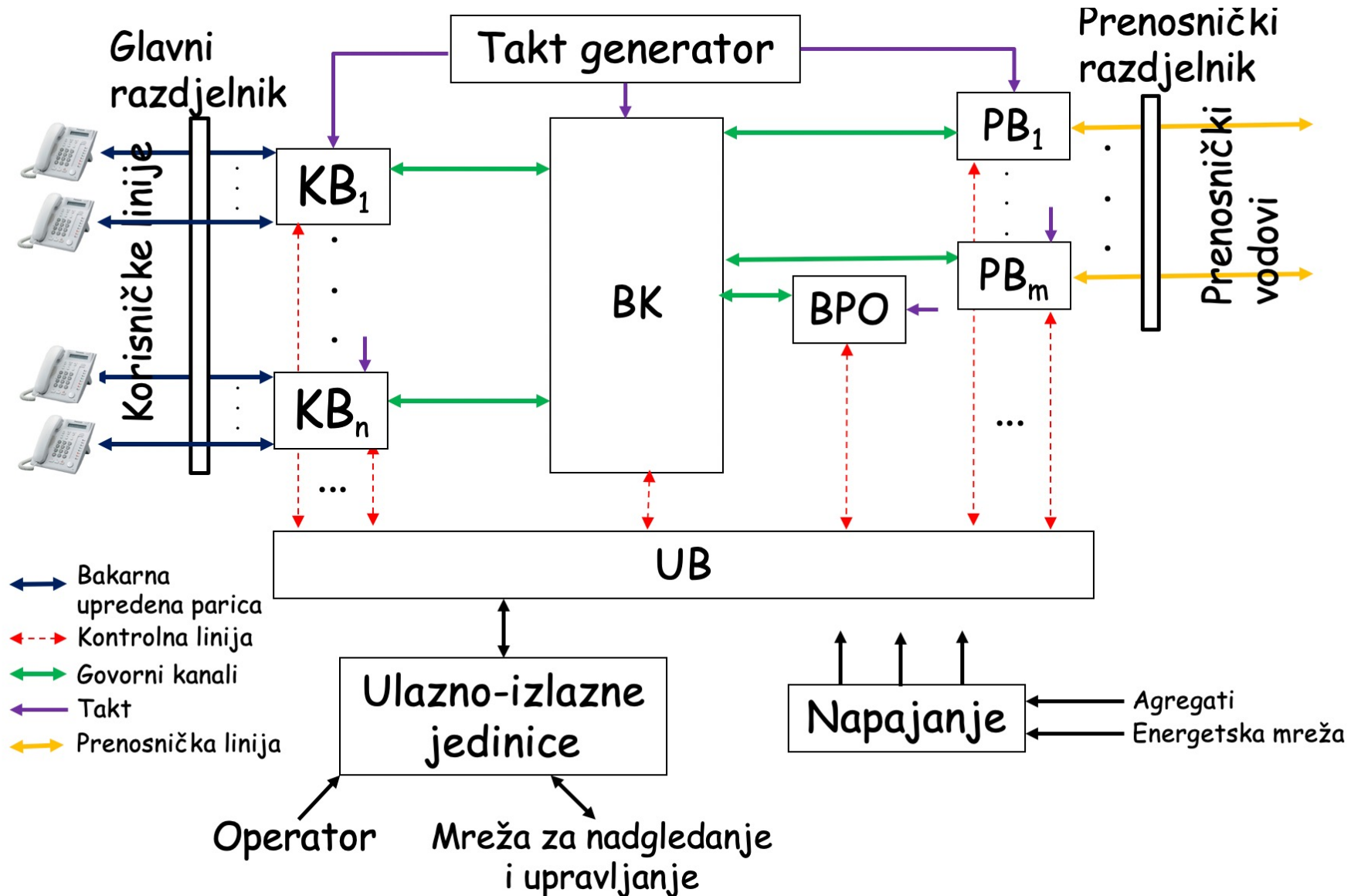
- Upis bajtova dolaznog vremenskog multipleksa u memoriju
- Čitanje bajtova po adekvatnom permutovanom redosledu u odlazni vremenski multipleks

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



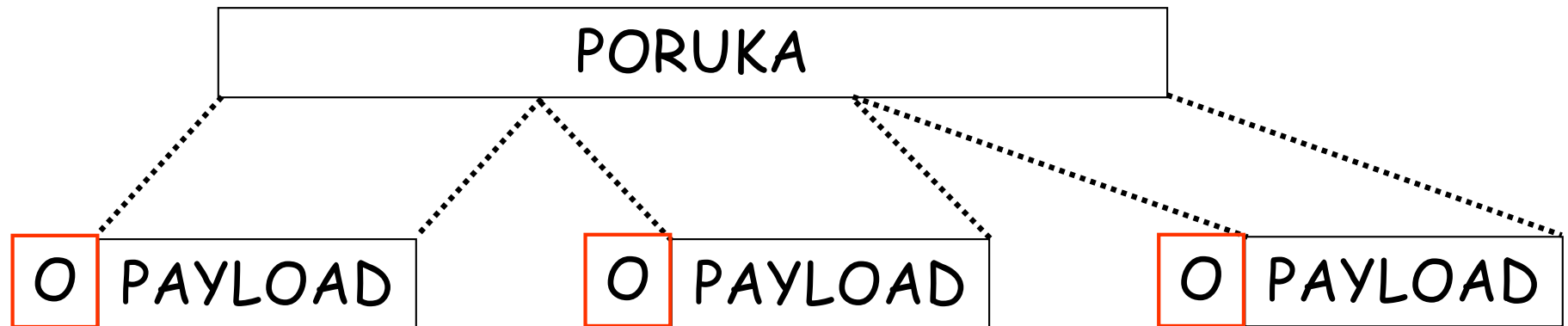
Istorija komutacionih sistema

Telefonski komutacioni sistem



Istorija komutacionih sistema

Komutacija paketa

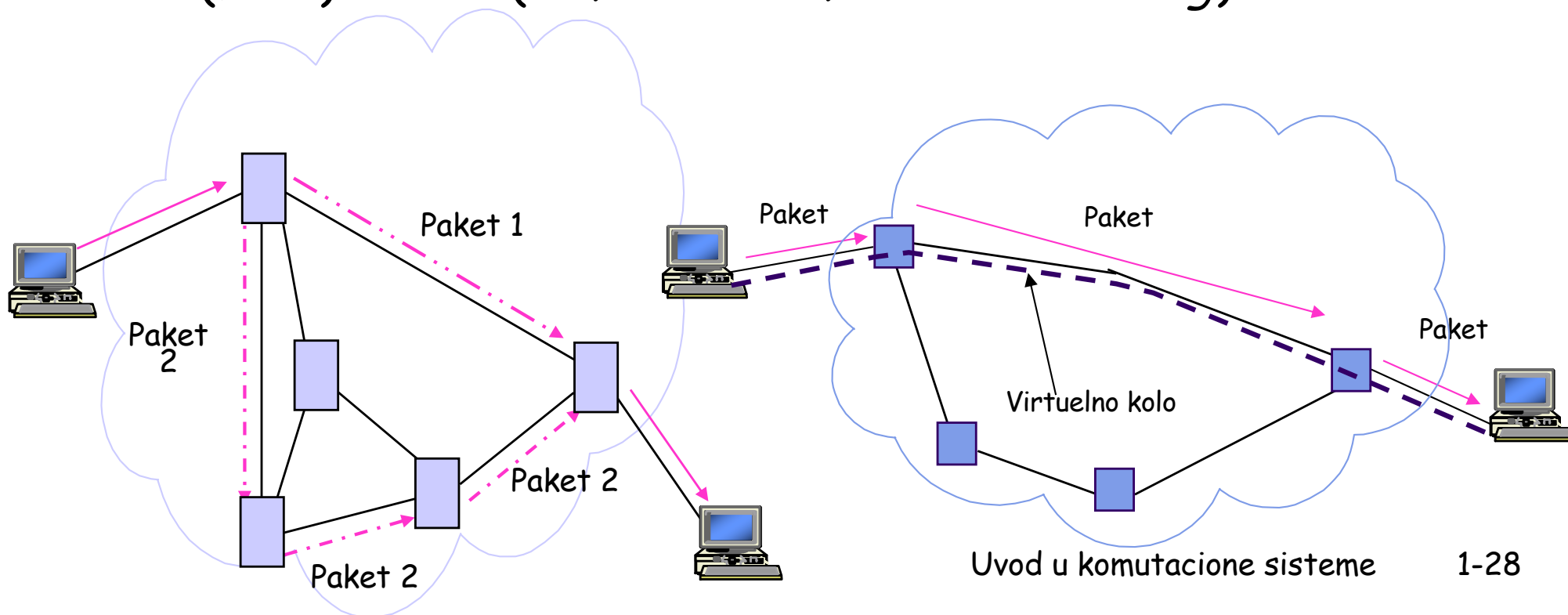


- ❑ PAYLOAD (korisni dio paketa)
- ❑ OVERHEAD ili ZAGLAVLJE (kontrolni podaci)
 - adresa pošiljaoca,
 - adresu primaoca,
 - broj segmenta poruke,
 - kod za pronalaženje greške,
 - ...

Istorija komutacionih sistema

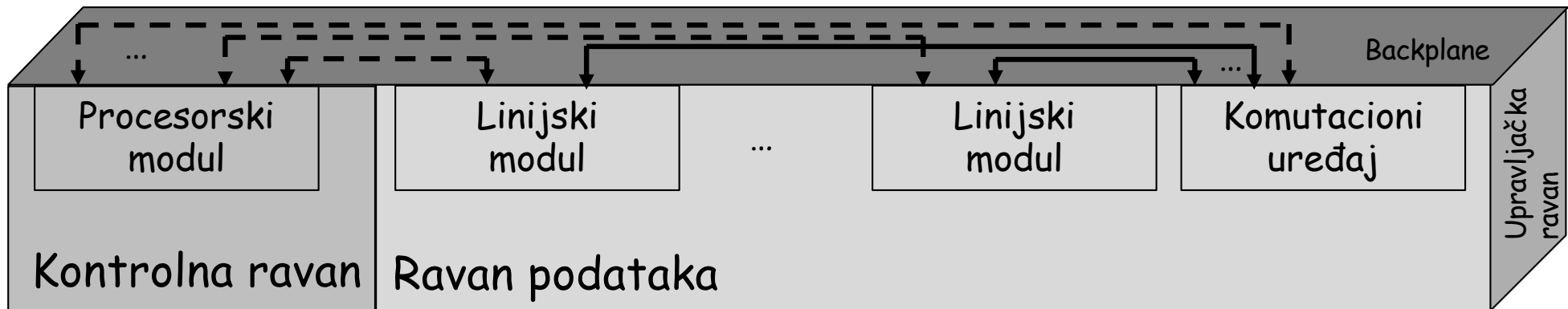
Tipovi komutacije paketa

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



Istorija komutacionih sistema

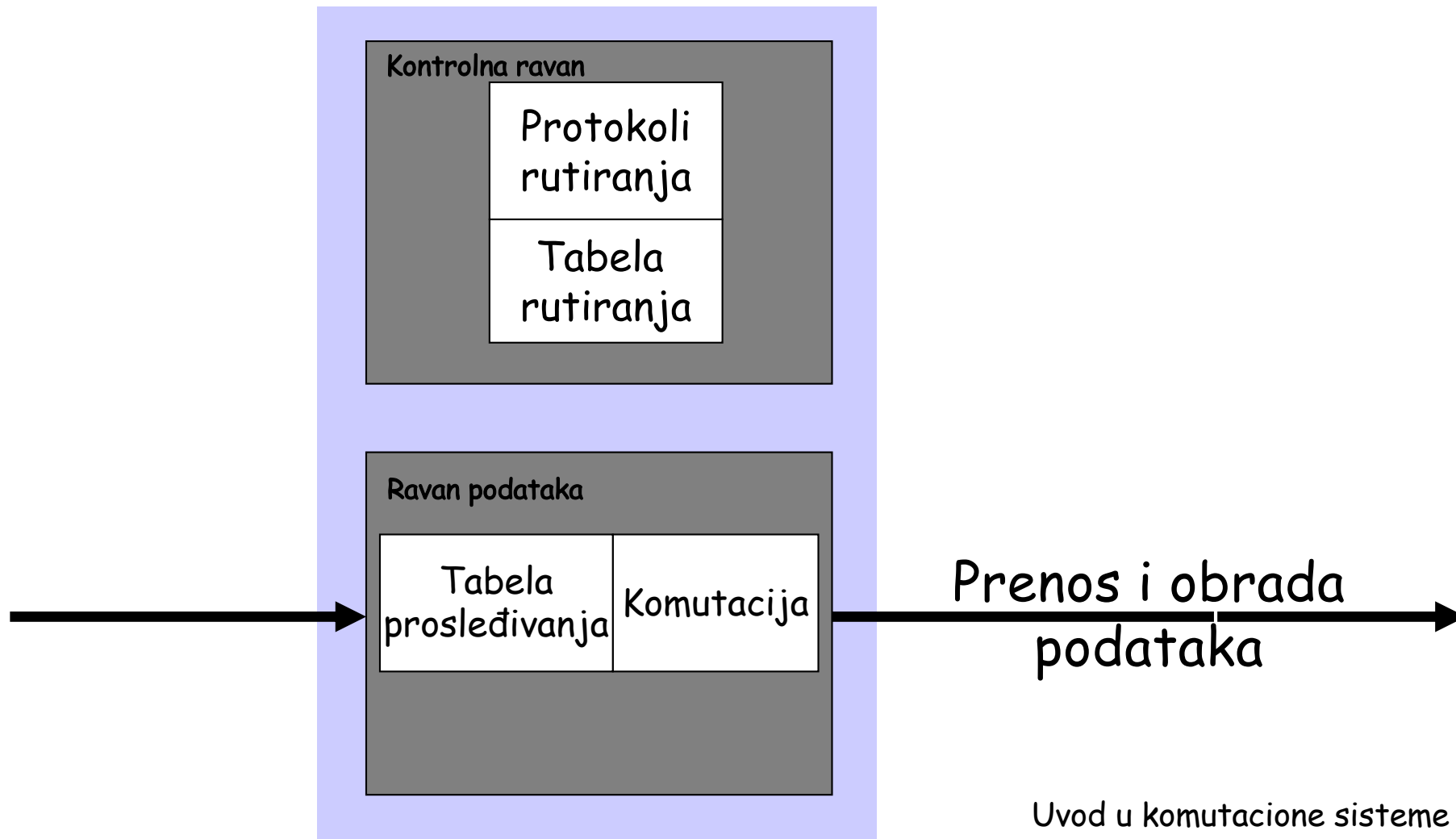
Komutator paketa



- ↔ Prenos korisničkih poruka (podataka)
- ← - → Prenos kontrolnih i upravljačkih poruka

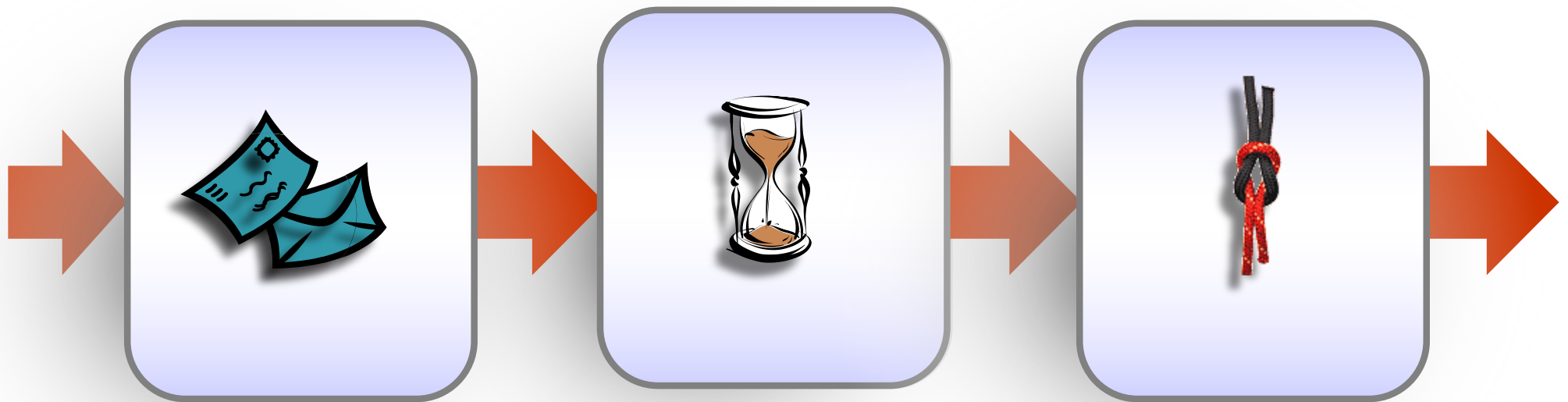
Istorija komutacionih sistema

Ruter



Istorija komutacionih sistema

Funkcije rutera



Lookup internet adresa

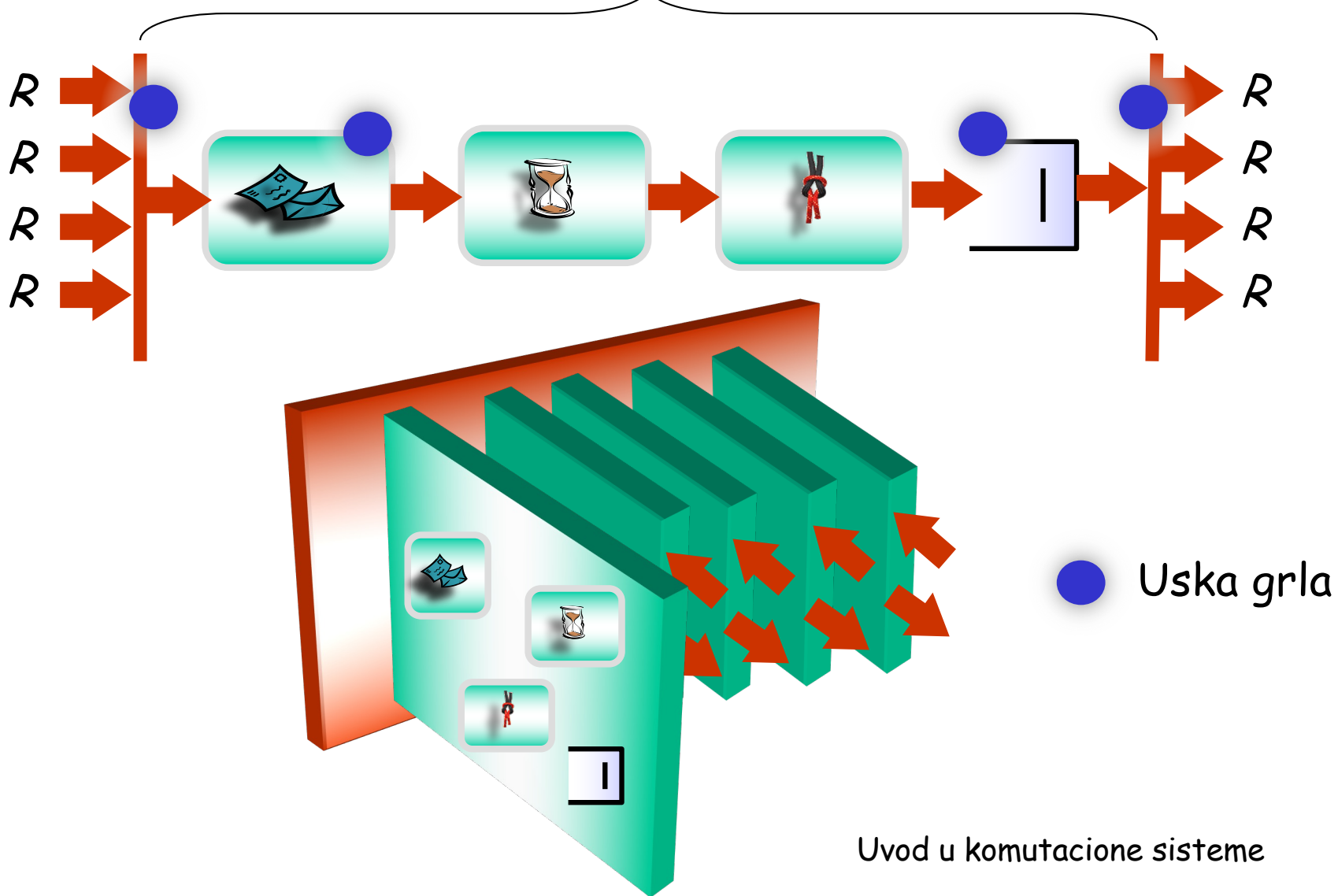
Provjera i ažuriranje
vremena boravka paketa
na Internetu

Provjera i ažuriranje
checksuma

Istorija komutacionih sistema

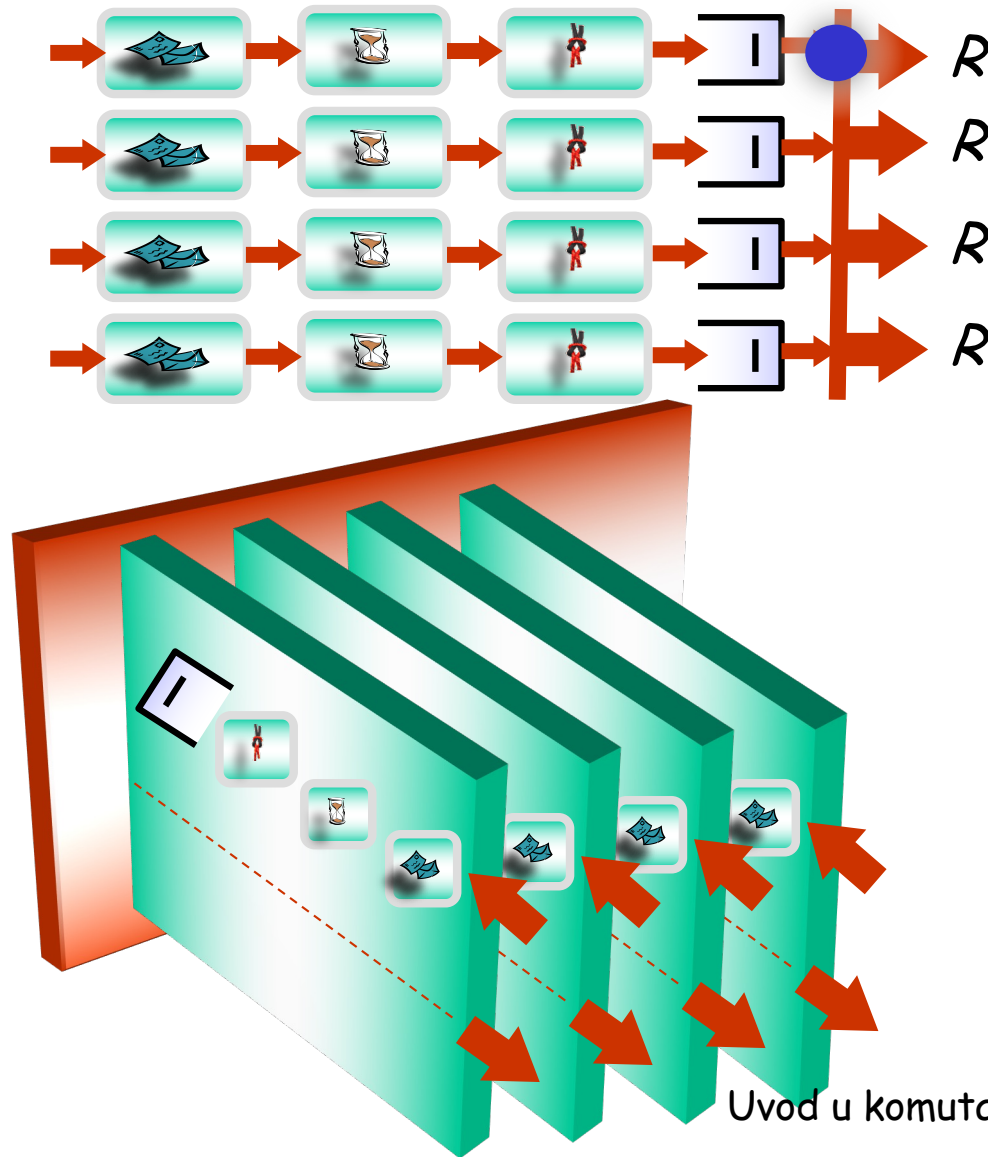
Rani dani: Modifikovani računar

Mora funkcionisati brzinom $N \times R$



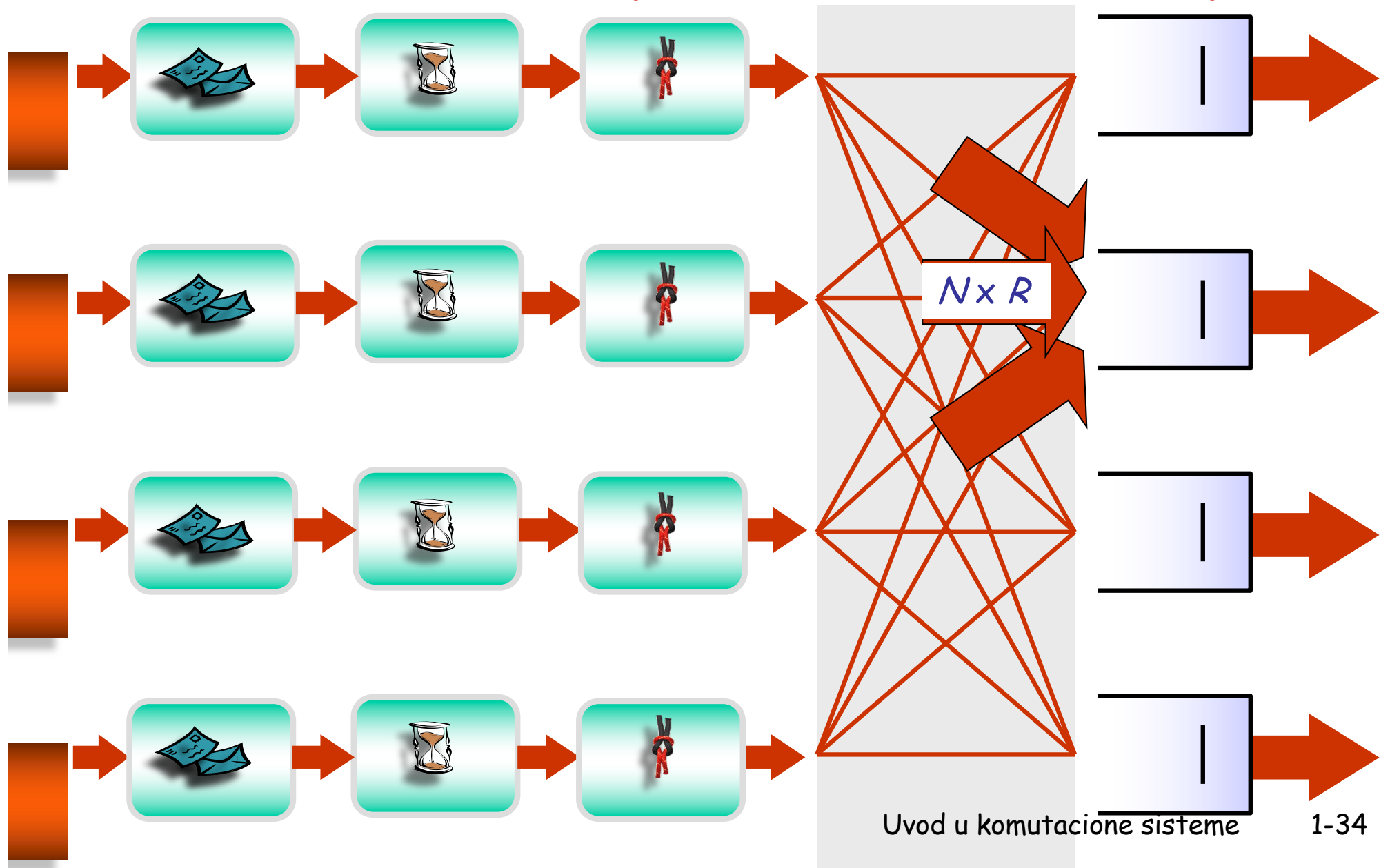
Istorija komutacionih sistema

Druga generacija rutera

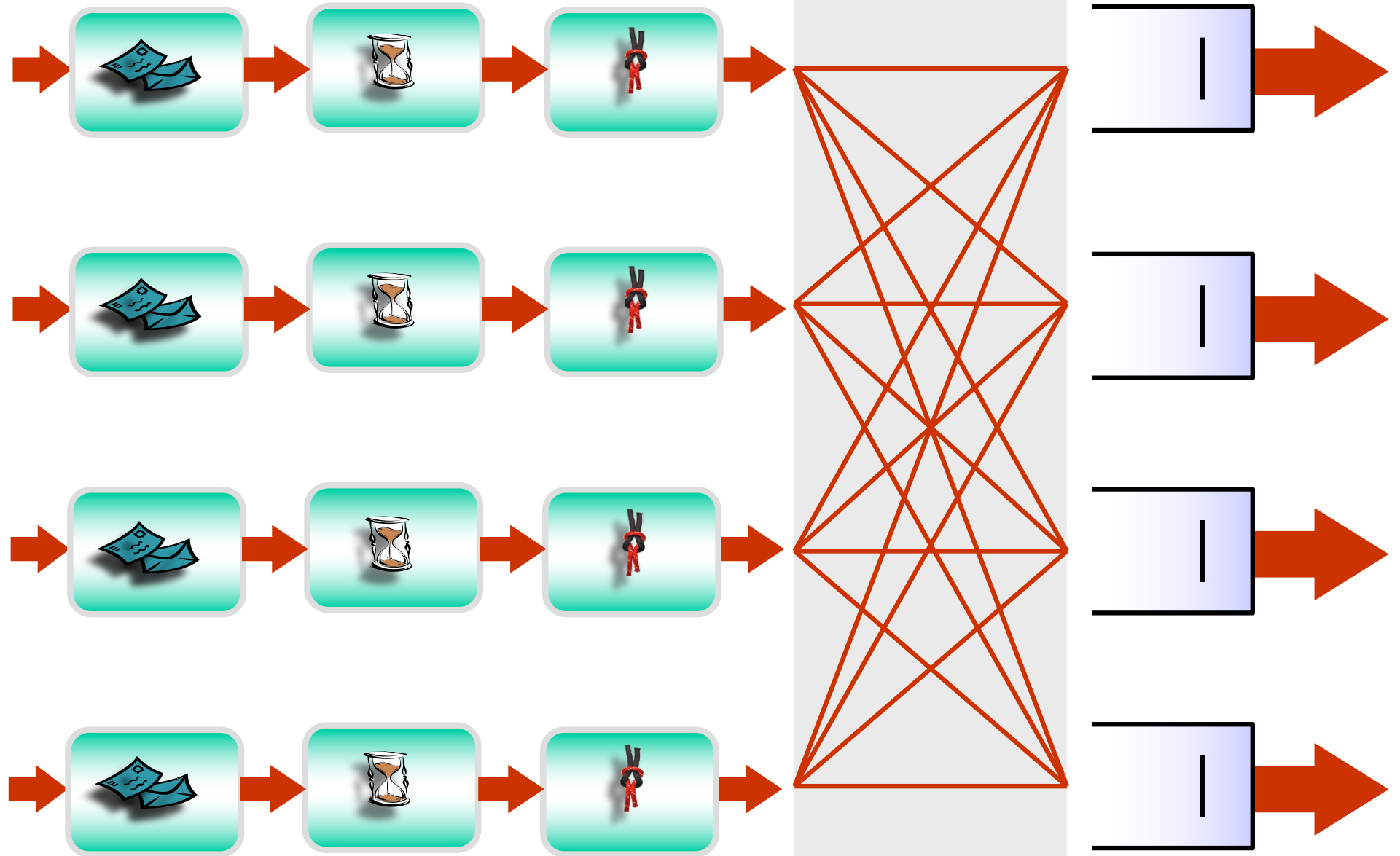


Istorija komutacionih sistema

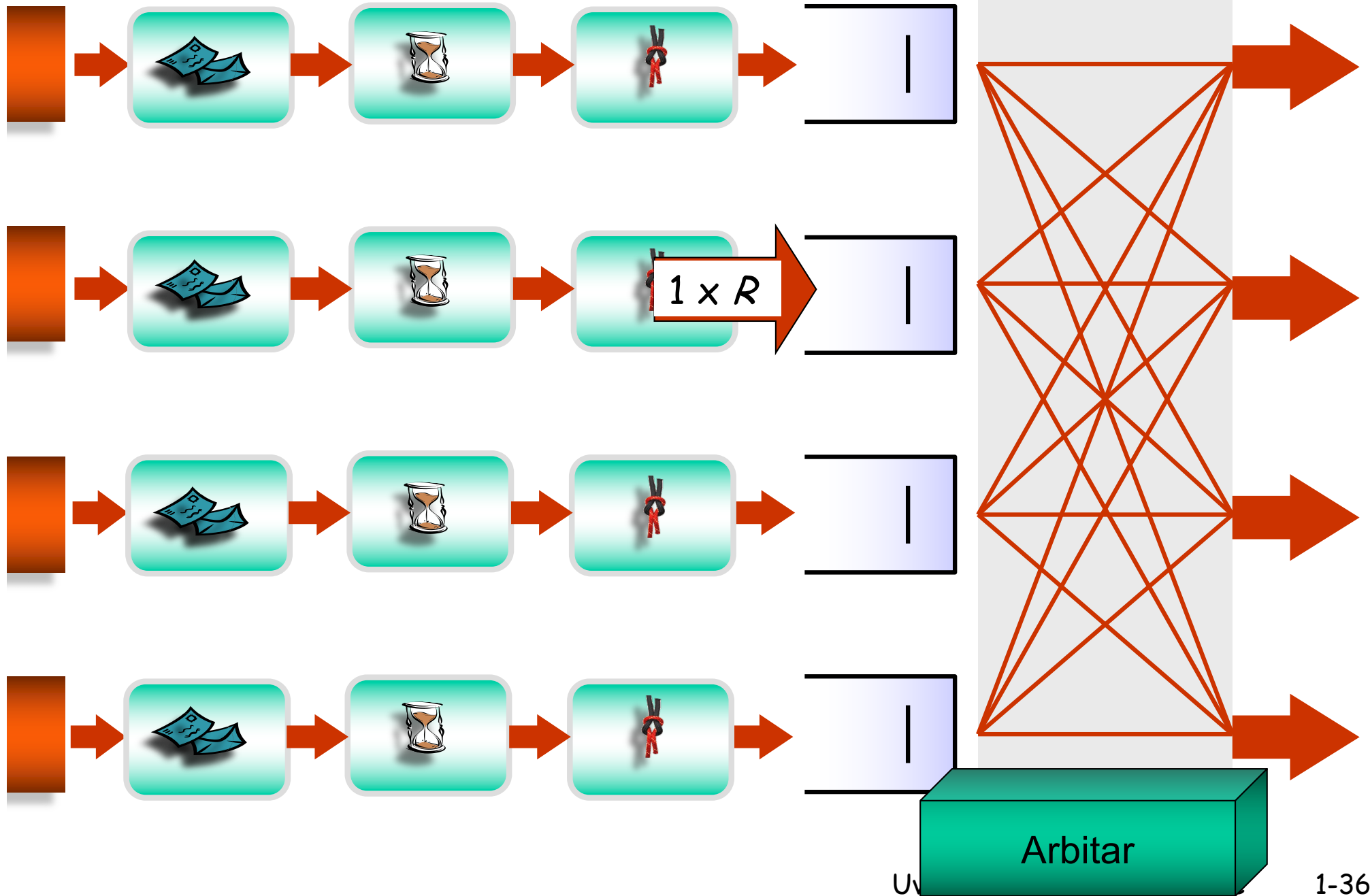
Ruter treće generacije: prostorna komutacija



Istorija komutacionih sistema



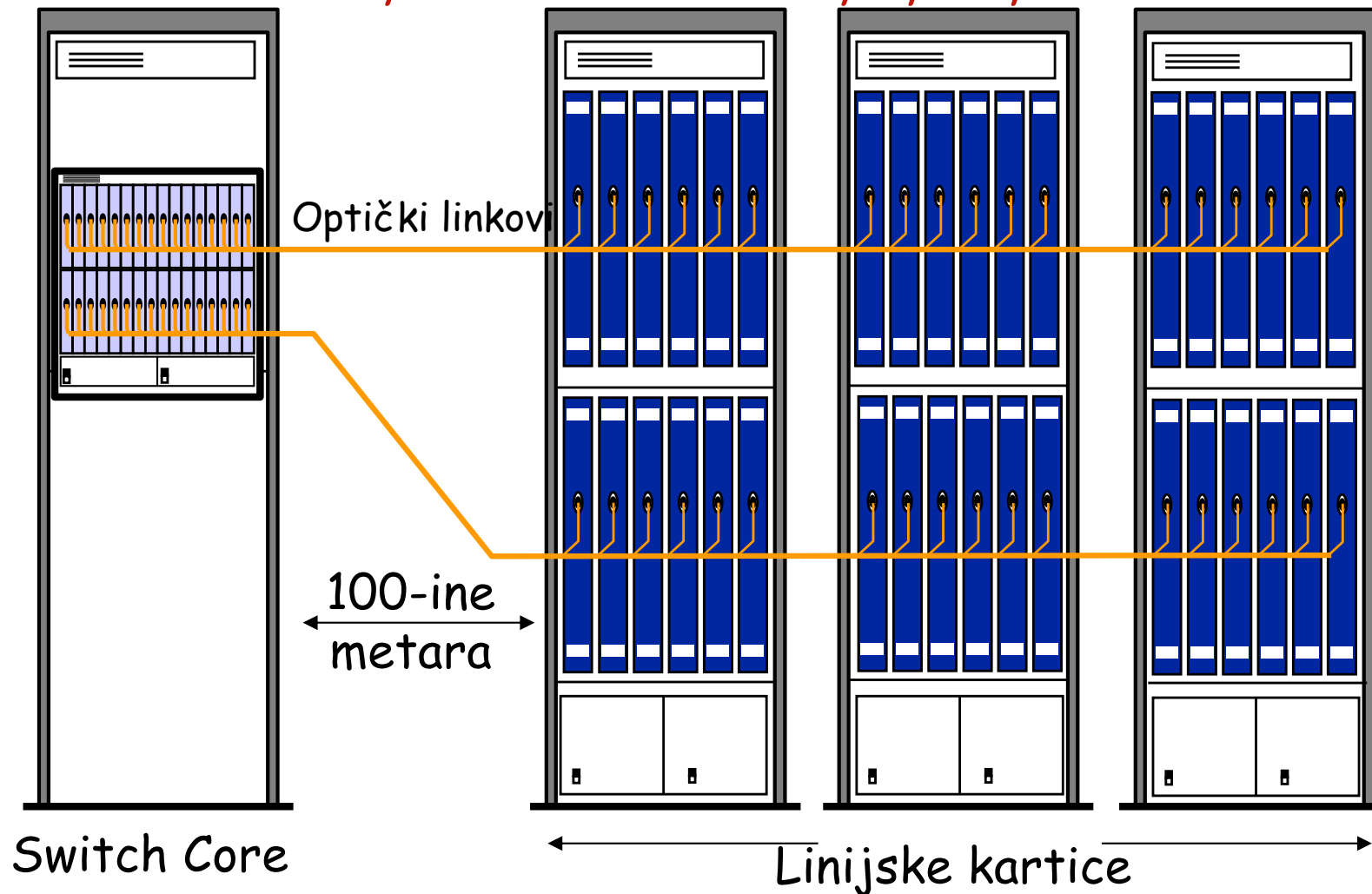
Istorija komutacionih sistema



Istorija komutacionih sistema

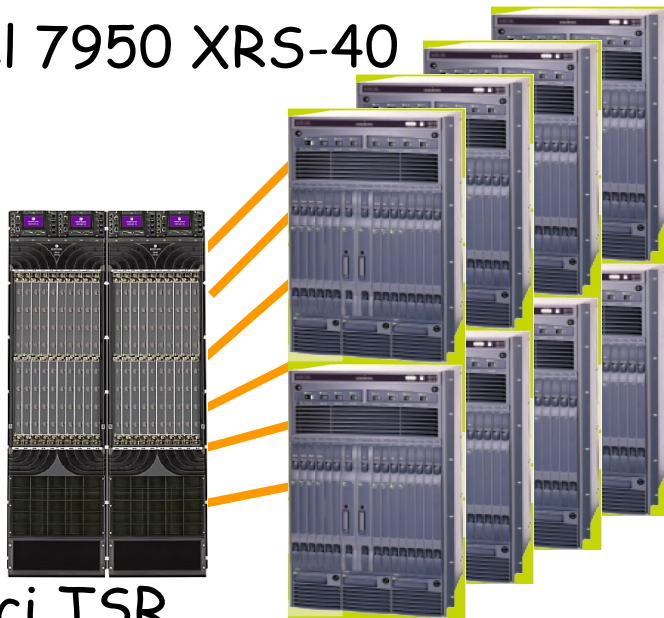
Četvrta generacija Ruter/Komutatora

Optika unutar rutera po prvi put!

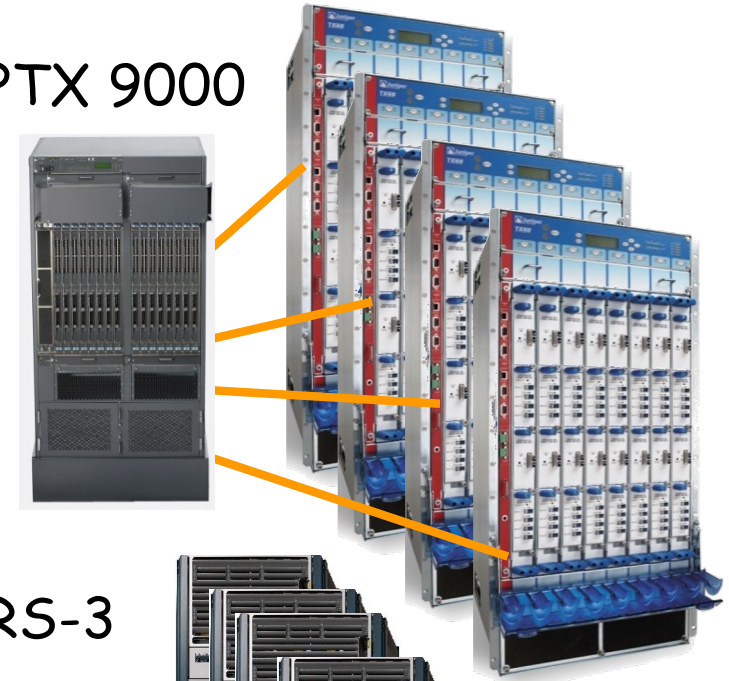


Istorija komutacionih sistema

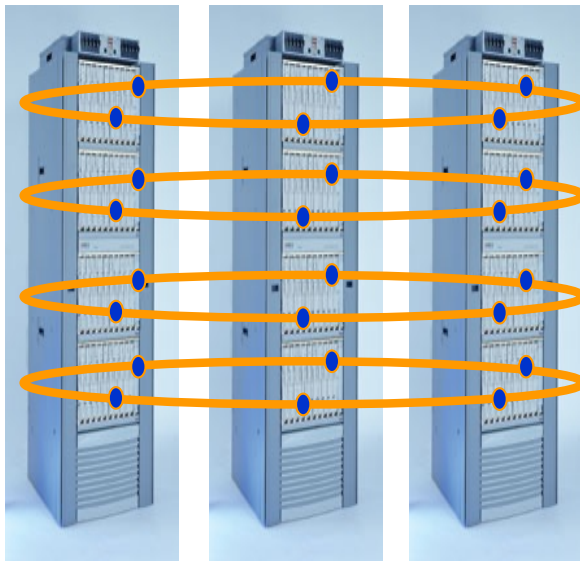
Alcatel 7950 XRS-40



Juniper PTX 9000



Avici TSR

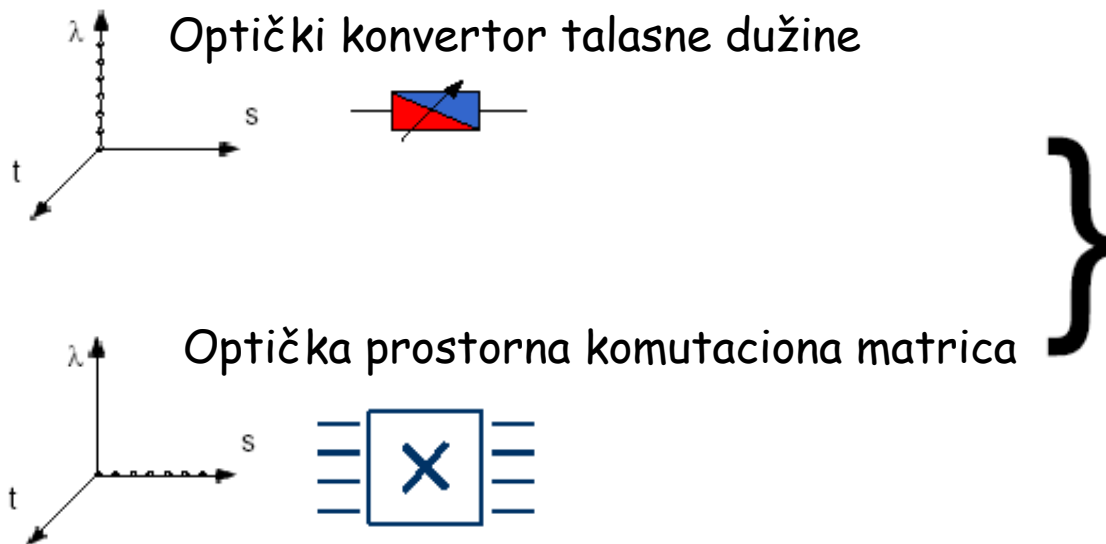


Cisco CRS-3

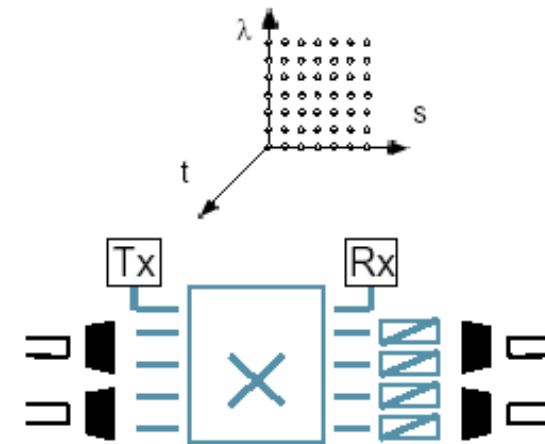


Istorija komutacionih sistema

Optički komutatori ili komutatori talasnih dužina



Optički komutator



Istorija komutacionih sistema

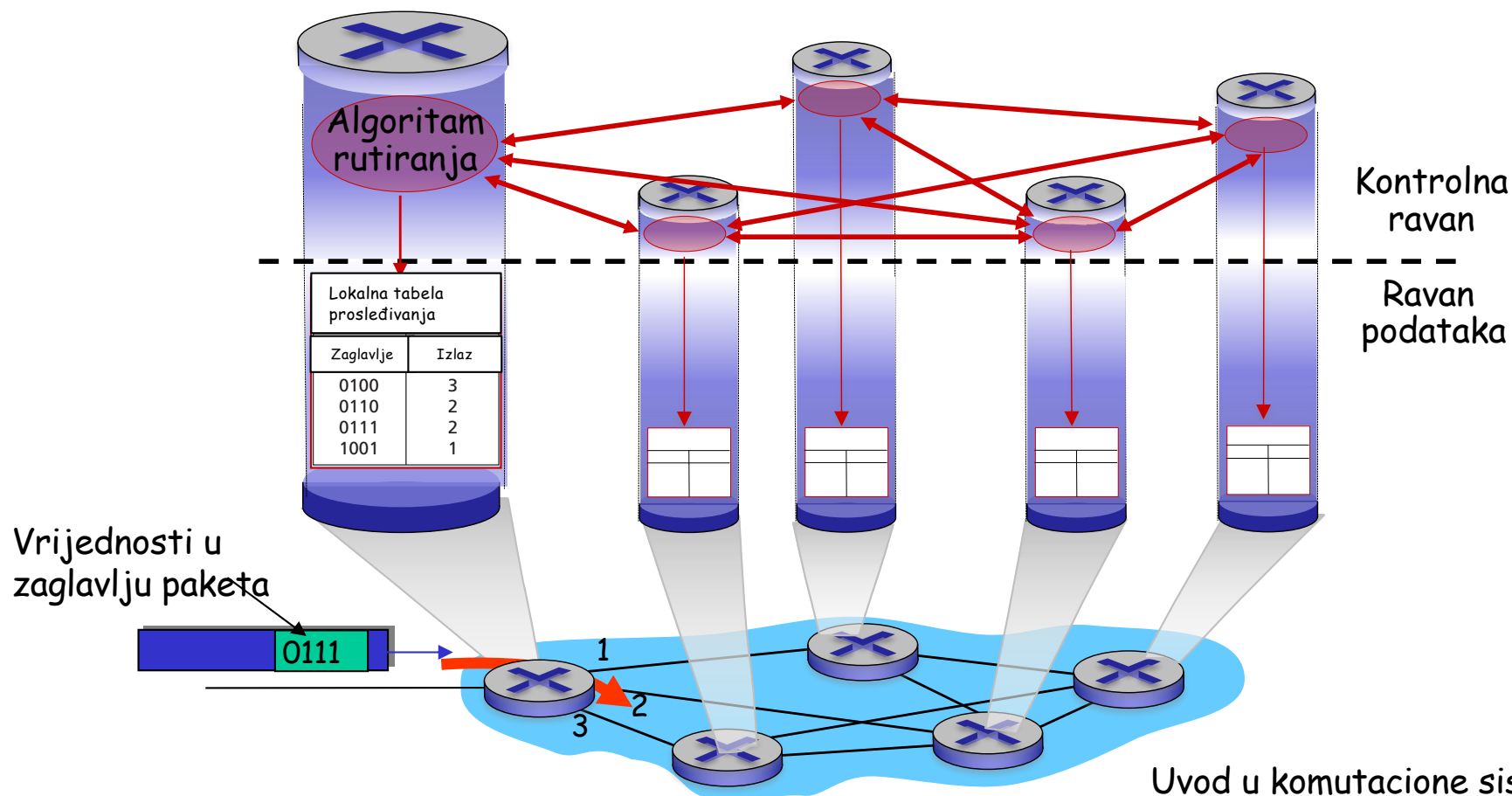
Optička komutacija

- ❑ 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

Budućnost komutacionih sistema

Distribuirana kontrolna ravan

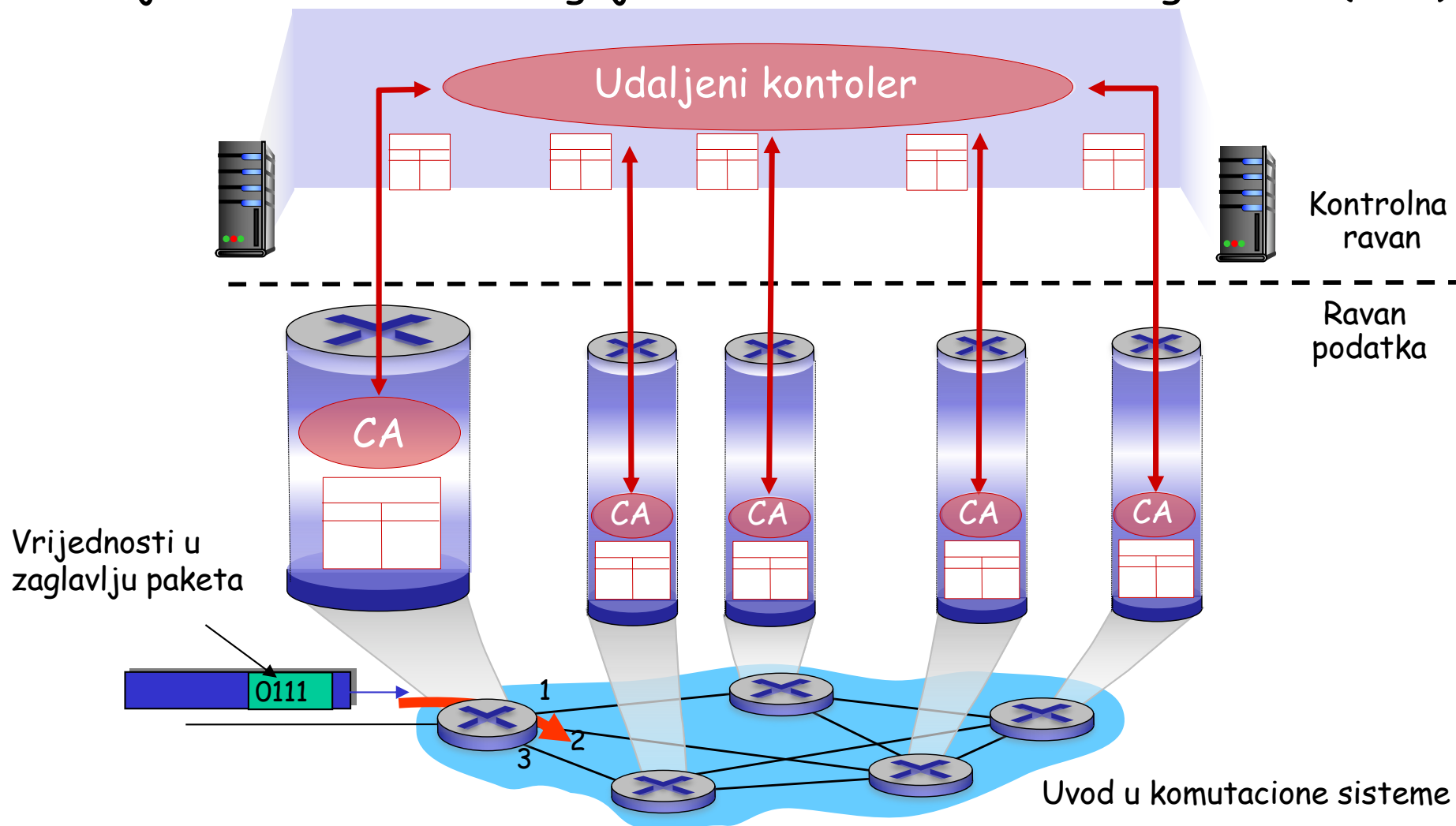
Individualni algoritmi rutiranja se izvršavaju samostalno *u svakom ruteru* i interaguju u kontrolnoj ravni



Budućnost komutacionih sistema

Centralizovana kontrolna ravan

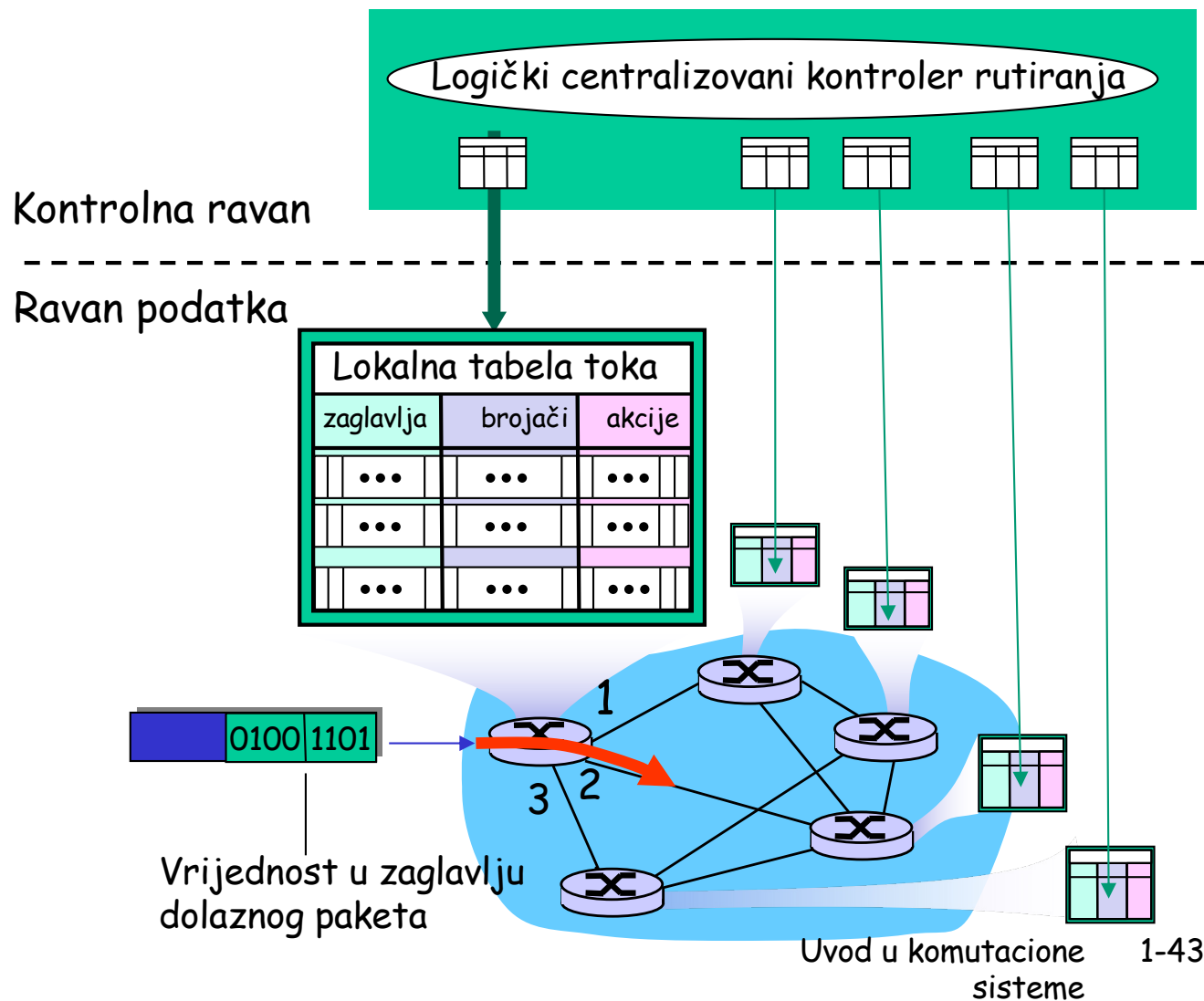
Udaljeni kontroler interaguje sa lokalnim kontrolnim agentima (CAs)



Budućnost komutacionih sistema

Generalizovano prosleđivanje i SDN

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



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

Budućnost komutacionih sistema

Cloud computing

Modeli

❑ *Software as Service (SaaS)*

- Obezbjeđuje 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)*

- Obezbjeđuje 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)*

- Obezbjeđuje infrastrukturne resurse na zahtjev najčešće u vidu Virtuelnih mašina
- Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), Microsoft Windows Azure, Google Compute Engine

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
 - Usmeravanje zahtjeva prema serverima sa više resursa
 - Izbjegavanje hot-spotova
 - Adaptaciju različitim cijenama energije

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 udeljenjim *cloud-om* čime se smanjuje kašnjenje i zagušenje mreže
 - Mrežni operatori postaju PaaS/IaaS operatori

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, *firewall*-i, balanseri 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

Budućnost komutacionih sistema

Data centri

Tipična topologije DC mreže

