

Uvod u telekomunikacione mreže

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

Prof.dr Enis Kočan

enisk@ucg.ac.me

dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

Uvod u telekomunikacione mreže

- ❑ Principi telekomunikacionih mreža
- ❑ Prenosni medijumi
- ❑ Multipleksiranje
- ❑ Nivo linka
- ❑ Komutacija
- ❑ Internet
- ❑ Bežične i mobilne mreže

Principi telekomunikacionih mreža

- ❑ Dijeljenje resursa
- ❑ Performanse telekomunikacione mreže
- ❑ Funkcije telekomunikacione mreže
- ❑ Arhitektura telekomunikacione mreže

Principi telekomunikacionih mreža

Dijeljenje resursa

- ❑ Korisnici nijesu uvijek aktivni na mreži tako da neprekidna dodjela resursa nije efikasna.
- ❑ Neka 1000 korisnika dijeli link kapaciteta C
- ❑ Recimo da je jedan korisnik prosječno aktivan 1% vremena.
- ❑ To bi značilo da je od 1000 korisnika prosječno aktivno svega 10.
- ❑ Prema tome svakom aktivnom korisniku je prosječno na raspolaganju kapacitet od $C/10$ što je 100 puta više od $C/1000$ koliko bi imao ukoliko bi svi korisnici bili aktivni.
- ❑ Ova vrijednost 100 predstavlja dobitak dijeljenja resursa i mjeri prednost koja se njime dobija.

Principi telekomunikacionih mreža

Performanse telekomunikacione mreže

- ❑ Brzina prenosa
- ❑ Kapacitet linka
- ❑ Kašnjenje
- ❑ ...

Principi telekomunikacionih mreža

Performanse telekomunikacione mreže

□ Brzina prenosa

- Link se može okarakterisati brzinom prenosa.
- Na primjer ADSL konekcija ima dvije brzine:
 - Uplink (nekoliko Mb/s)
 - Downlink (nekoliko desetina Mb/s)
- Brzina od 100 Mb/s znači da predajnik može poslati paket od 10000 bita za 0.1 ms.

Za koliko se može poslati 100MB?

Principi telekomunikacionih mreža

Performanse telekomunikacione mreže

□ Kapacitet linka

- Brzina prenosa linka zavisi od

- Propusnog opsega linka
- Nivoa šuma na linku

- Šenonova formula

- $C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$
- B je propusni opseg linka
- $\frac{S}{N}$ je odnos snaga signala i šuma
- C je Šenonov kapacitet linka ili teorijski maksimalna moguća brzina prenosa na linku

Principi telekomunikacionih mreža

Performanse telekomunikacione mreže

□ Kašnjenje

- Prenos (vrijeme prenosa fajla na link)
- Propagacija (vrijeme da se bit fizički prenese sa početka na kraj linka)
- Obrada (vrijeme da se informacija obradi na čvorištu)
- Baferovanje (vrijeme koje informacija provede u čvorištu prije nego se pošalje na link)
- ...

Principi telekomunikacionih mreža

Funkcije telekomunikacione mreže

- ❑ Kreiranje bloka podataka koji je podesan za prenos mrežom (paket)
- ❑ Adresiranje (identifikacija terminala, mrežnog čvorišta,...)
- ❑ Kontrola greške (detekcija greške i njeno otklanjanje)
- ❑ Kontrola protoka (sprečavanje preopterećenja odredišta prevelikom količinom informacija)
- ❑ Kontrola zagušenja (sprečavanje preopterećenja mreže ili nekog njenog dijela)
- ❑ ...

Principi telekomunikacionih mreža

Funkcije telekomunikacione mreže

- ❑ **segmentiranje/ulančavanje** (obezbjeđuje da se sadržaj i veličina poruka koje entiteti razmjenjuju prilagode karakteristikama mreže),
- ❑ **formiranje protokolskih jedinica podataka PDU od podataka i potrebnih kontrolnih informacija** (adresa, kodova za detekciju greške i sinhronizaciju),
- ❑ **kontrola zagušenja** (podešavanje količine i brzine podataka koje šalje entitet zavisno od stanja odnosno saobraćajnog opterećenja u kojem se nalazi mreža),
- ❑ **kontrola protoka** (podešavanje količine i brzine podataka koje šalje entitet zavisno od stanja odnosno saobraćajnog opterećenja u kojem se nalazi entitet sa kojim komunicira),
- ❑ **kontrola greške** (zaštita podataka od greške ili oštećenja),
- ❑ **adresiranje** (jedinствена globalna adresa za sve sisteme u mreži),
- ❑ **multipleksiranje** više sesija unutar jednog sistema,
- ❑ **transmisioni servisi** (prioritet, sigurnost podataka, itd.).

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

- skup pravila za upravljanje i ostvarivanje interakcije (komunikacije) između sistema mreže
- sastoji se od:
 - formata podataka koji se prenose,
 - protokola i
 - logičkih struktura.
- osnovni pojmovi
 - **Entitet** predstavlja sve što može da šalje ili prima podatke (korisnički program, kontroleri baza podataka, i sl.).
 - **Sistem** je fizički određen objekat koji sadrži više entiteta (računar, terminal, upravljački senzori itd.).
 - **Protokol** je skup konvencija koje regulišu razmjenu podataka između entiteta.
 - **Blok** (segment, datagram ili frejm) podataka koji se razmjenjuje između dva entiteta preko protokola se naziva **protokolska jedinica podataka** (Protocol Data Unit).

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

Protokol definiše

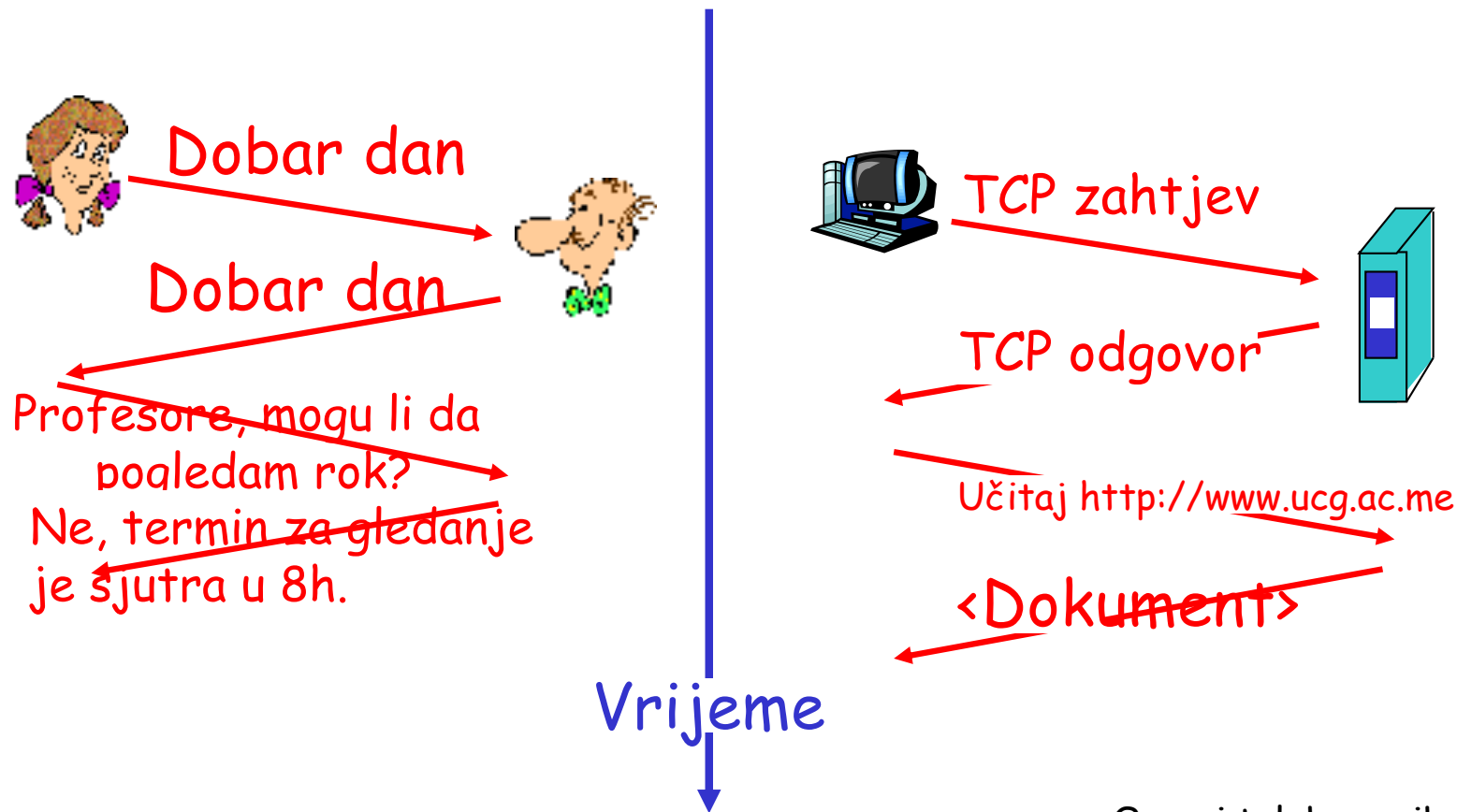
- ❑ Sintaksu poruka (format podataka, tip kodiranja i osobine signalizacionih nivoa),
- ❑ Semantika (sadržaj pojedinih polja u PDU koji se recimo odnose na kontrolu protoka, otkrivanje i uklanjanje grešaka),
- ❑ Vremensku usklađenost brzina prenosa podataka (usaglašavanje brzine slanja izvorišta i brzine obrade informacija na odredištu) i sekvencionalnost (prijem podataka po redosledu po kome su poslani).
- ❑ Akcije

Protokoli definišu format, redosled poslatih i primljenih poruka između mrežnih entiteta, i akcije koje se sprovode nakon prijema poslatih poruka

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

Ljudski protokol i mrežni protokol:



Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

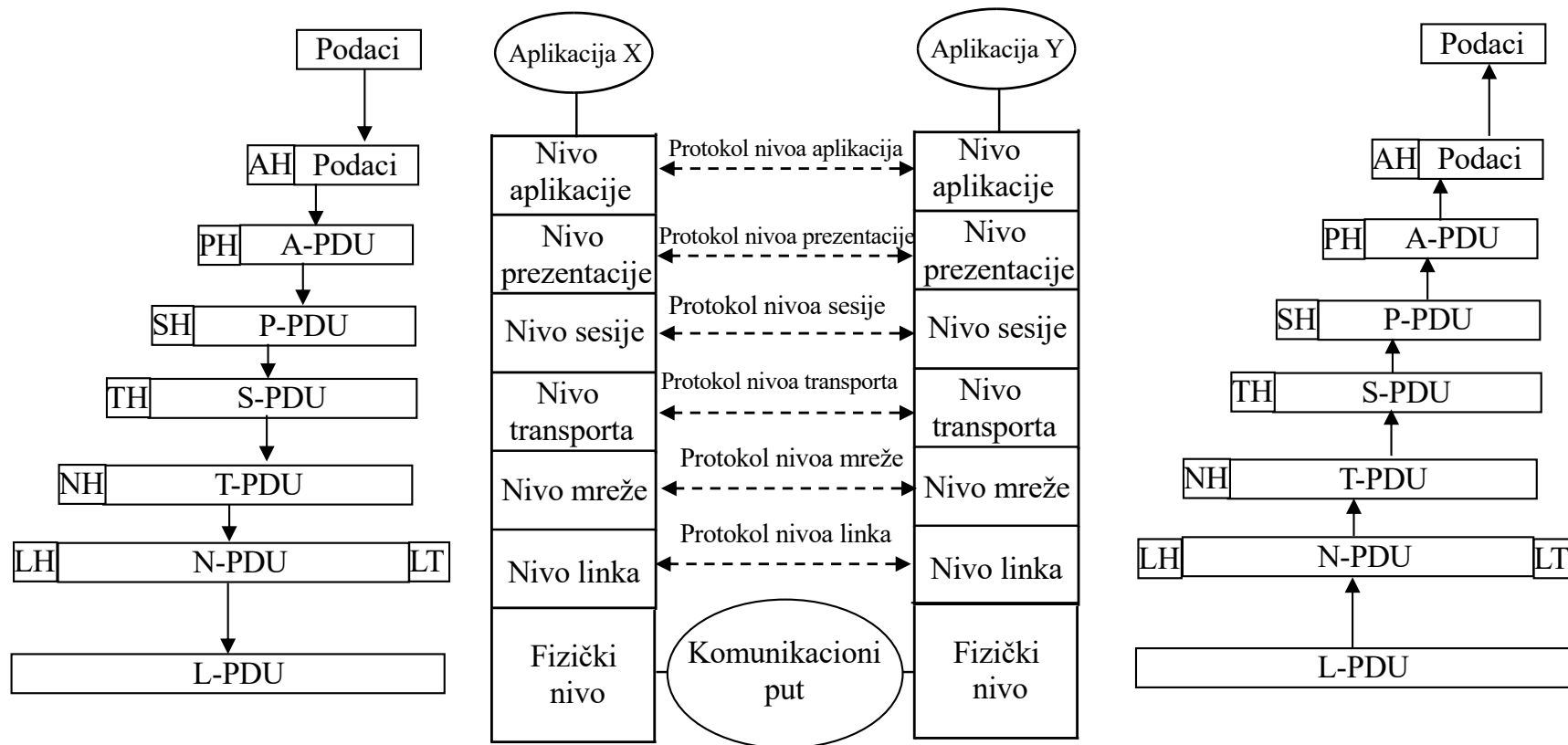
OSI referentni model

- ❑ OSI (*Open System Interconnection*)
- ❑ ISO referentni model za arhitekturu telekomunikacione mreže.
- ❑ Objavljen je 1983. godine.
- ❑ OSI referentni model uspostavlja osnovni okvir za usaglašavanje standarda za međusobno povezivanje otvorenih sistema (sistemi koji koriste standardizovane postupke i metode iz OSI referentnog modela).
- ❑ Ovaj teorijski sistem je došao suviše kasno!
- ❑ Danas je TCP/IP de facto standard!
- ❑ Višenivovski model
- ❑ Svaki nivo obavlja dio funkcija telekomunikacione mreže
- ❑ Svaki nivo se "oslanja" na nivo ispod sebe
- ❑ Svaki nivo nudi servis nivou iznad sebe
- ❑ Promjene na jednom nivou u principu ne treba da znače promjene na drugim nivoima

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

OSI referentni model



Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

OSI referentni model

- ❑ Fizički nivo (ispravan prenos bita)
- ❑ Nivo linka (ispravan prenos poruke preko linka)
- ❑ Nivo mreže (povezivanje različitih mreža)
- ❑ Nivo transporta (ispravan prenos između korisničkih terminala)
- ❑ Nivo sesije (upravlja dijalogom korisničkih terminala)
- ❑ Nivo prezentacije (enkripcija, kompresija, kodiranje,...)
- ❑ Nivo aplikacije (daje softveru komunikacione mogućnosti)

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

TCP/IP arhitektura

- ❑ TCP (*Transmission Control Protocol*)
- ❑ IP (*Internet Protocol*)
- ❑ Razvoj TCP/IP počinje ranih '70-tih godina kada je DARPA (*The USA Department of Defense Advanced Research Projects Agency*) prihvatila kao standard mrežnu arhitekturu prisutnu u američkim državnim mrežama (ARPANET).
- ❑ TCP/IP je bio prisutan u Berklijevoj UNIX verziji u 2. operativnog sistema za lokalne mreže.
- ❑ Tokom '80-tih godina TCP/IP je postao osnova razvoja Interneta, čija ekspanzija je TCP/IP dala značajno veću popularnost od OSI-ja.
- ❑ Zvanično usvojeni TCP/IP model protokola ne postoji. Razlog za to je što je TCP/IP nastao iz prakse a ne iz procesa standardizacije koji je započeo mnogo kasnije nego što je TCP/IP zaživio u praksi.
- ❑ Specifikacije pojedinih Internet protokola su javno dostupne u vidu RFC (*Request For Comments*) dokumenata koji se mogu naći na www.ietf.org/rfc.html.

Principi telekomunikacionih mreža

Arhitektura telekomunikacione mreže

TCP/IP (Internet) arhitektura

1. fizički nivo, koji definiše karakteristike prenosnog medijuma, brzinu signalizacije i šemu kodiranja signala,
2. nivo linka ili nivo mrežnog pristupa, koji se bavi interfejsom između krajnjeg sistema i mreže, i omogućava prenos **okvira (frejmova)** na bazi odgovarajućih protokola nivoa linka između dva rutera
3. nivo mreže, koji izvršava rutiranje podataka u formi **datagrama** od izvorišnog do destinacionog hosta (IPv4, IPv6,...),
4. transportni (host-host) nivo (TCP, UDP,...) koji obezbeđuje prenos podataka u formi **segmenta** od kraja do kraja,
5. nivo aplikacije (HTTP,...), koji omogućava komunikaciju između procesa ili aplikacija na odvojenim hostovima.



Prenosni medijumi

- ❑ Fizički medijum koji povezuje predajnik i prijemnik u telekomunikacionoj mreži.
- ❑ Karakteristike prenosnih medijuma predstavljaju jedan od najvažnijih elemenata sa aspekta projektovanja telekomunikacionih mreža.
- ❑ Pri projektovanju telekomunikacionih mreža posebna pažnja se posvećuje njihovom izboru.
- ❑ Pri prvim realizacijama prenosa informacija koristili su se bakarni provodnici, da bi se početkom prošlog vijeka počeo koristiti i radio kanal.
- ❑ Danas prema kapacitetu dominira optičko vlakno a prema popularnosti bežični radio kanal.

Prenosni medijumi

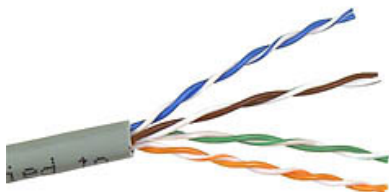
Klasifikacija

- Vođeni ili žični (elektromagnetni talasi su vođeni kroz medijum od čvrstog materijala)
 - Bakarna upredena parica
 - Koaksijalni kabal
 - Optičko vlakno
 - ...
- Nevođeni ili bežični (elektromagnetni talasi se ne vode kroz medijum od čvrstog materijala već se prostiru kroz atmosferu i slobodni prostor).

Prenosni medijumi

Bakarna upredena parica

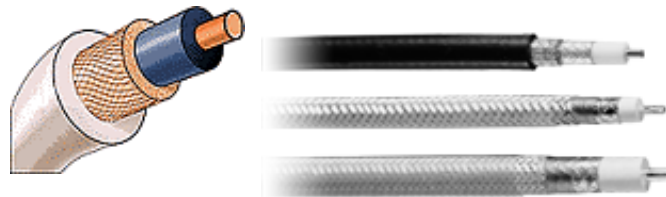
- ❑ najviše korišćeni i najjeftiniji prenosni medijum za analogni i digitalni prenos.
- ❑ sastoji se od dvije izolovane upreden bakarne žice (prečnika 0.4, 0.5, 0.6mm i više) koje se ponašaju kao jedna komunikaciona veza.
- ❑ upredanje se vrši radi smanjenja efekta elektromagnetne indukcije odnosno fenomena "preslušavanja"
- ❑ određeni broj ovakvih parica, pojedinačno zaštićenih posebnim zaštitnim omotačima, se smješta u kabal.
- ❑ Koriste se u telefonskim mrežama i LAN (*Local Area Network*) računarskim mrežama
- ❑ Različite kategorije
- ❑ Brzine do 40Gb/s



Prenosni medijumi

Koaksijalni kabal

- ❑ Koaksijalni kabal se sastoji od dva bakarna provodnika, ali je njegova konstrukcija drugačija u poređenju sa bakarnom upredenom paricom.
- ❑ Radi se o spoljašnjem, šupljem cilindričnom provodniku koji obuhvata unutrašnji žičani provodnik.
- ❑ Za stabilnu poziciju unutrašnjeg provodnika koriste se posebni ravnomjerno raspoređeni izolatorski prstenovi ili čvrsti dielektrični materijali.
- ❑ Spoljašnji provodnik se pokriva zaštitnim omotačem.
- ❑ S obzirom na zaštitni omotač i koncentričnu konstrukciju, koaksijalni kabal je nešto otporniji na interferenciju i preslušavanje nego što je to slučaj sa bakarnim upredenim paricama, ali istovremeno i skuplji i značajno teži za eksploataciju.
- ❑ Njegova glavna aplikacija je pristupnim mrežama kablovskih operatora.

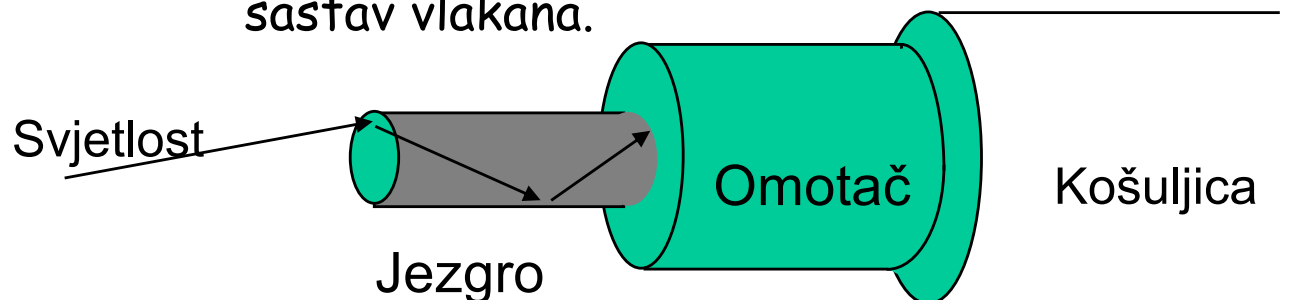


Principi telekomunikacionih mreža

Prenosni medijumi

Optičko vlakno

- ❑ tanak (2 do 125 μm) i lak (kilometar vlakna ima svega nekoliko grama) medijum koji omogućava prostiranje optičkog zraka.
- ❑ koriste se različiti stakleni i plastični materijali.
- ❑ ima cilindrični oblik i sastoji se od tri koncentrične sekcije: jezgra, košuljice i omotača.
 - Jezgro je unutrašnji dio koji se sastoji od jednog ili više vrlo tankih slojeva, ili vlakana, napravljenih od stakla ili plastike.
 - Svako vlakno je okruženo sopstvenom košuljicom od stakla ili plastike, čije su optičke karakteristike različite u odnosu na jezgro.
 - Poslednji je spoljašnji zaštitni sloj koji obuhvata jedan ili više vlakana. Ovaj zaštitni dio je napravljen od plastike ili drugih materijala koji treba da ostvare zaštitu od vlage, lomljenja, i drugih opasnosti za sastav vlakana.



Prenosni medijumi

Optičko vlakno

- ❑ Razvoj u domenu optičkih komunikacija je omogućio praktičnu realizaciju prenosa podataka brzinama od 100Gb/s, sa prvim linkovima i na brzinama preko 1 Tb/s. Optička vlakna imaju brojne prednosti u odnosu na druge fiksne medijume, kada je prenos podataka u pitanju.
- ❑ Povećan kapacitet prenosa. Protoci i preko 100Gb/s se mogu realizovati optičkim vlaknima, dok za upredene parice gornja granica za sada iznosi 10Gb/s.
- ❑ Elektromagnetna izolacija. Optička vlakna ne stvaraju elektromagnetnu interferenciju i nisu osjetljiva na spoljašnju interferenciju i atmosferska pražnjenja (ukoliko su vlakna organizovana u okviru kabla koji nije armiran).
- ❑ Nema problema preslušavanja i refleksije, prisutnih kod upredenih parica i koaksijalnih kablova.
- ❑ Manje slabljenje. Slabljenje raste sa rastojanjem sporije nego u slučaju prenosa električnim medijumima, čime se omogućava postavljanje ripitera na većim razmacima.

Prenosni medijumi

Optičko vlakno

- ❑ Vjerovatnoće greške reda jedne u 10^9 su tipične, u odnosu na jednu u 10^6 za koaksijalne kablove.
- ❑ Manji su i lakši. Tipično, optički kablovi imaju deset puta manju težinu od koaksijalnih kablova, tanji su i lakši za ugradnju.
- ❑ Optička vlakna su pogodna za upotrebu u širokom temperaturnom opsegu.
- ❑ Povećanje kapaciteta prenosa može biti ostvareno dodavanjem postojećem kablju kanala na različitim talasnim dužinama svjetlosti.
- ❑ Optička vlakna su otpornija na koroziju i vlagu.
- ❑ Troškovi održavanja su manji nego za električne kablove. Takođe je i srednje vrijeme između otkaza znatno duže.

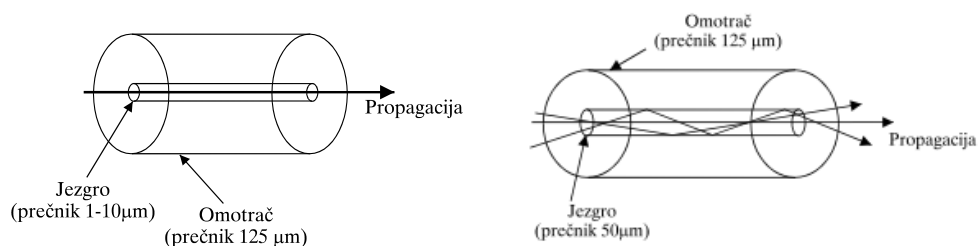
Prenosni medijumi

Optičko vlakno

- ❑ plastično jezgro je lakše za realizaciju, manje je osjetljivo na eventualne nečistoće i jeftinije je.
- ❑ ova vlakna imaju i mnogo veća slabljenja (stotine dB/km) u odnosu na vlakna sa staklenim jezgrom, što ograničava njihovu primjenu na lokalne veze dužine do 50 m.

U odnosu na način prostiranja svjetlosti duž vlakna, razlikuju se:

- ❑ monomodna (postoji samo jedna putanja prostiranja svjetlosti duž jezgra) i
- ❑ multimodna vlakna (imaju veći prečnik jezgra i veći broj putanja prostiranja dobijenih refrakcijom svjetlosnog zraka). Postojanje više putanja prostiranja različitih dužina, a time i različitih vremena potrebnih za prelazak vlakna, dovodi do toga da se pojedinačni elementi signala (impulsi) rasipaju u vremenu. Na taj način se direktno ograničava brzina prenosa sa kojom je moguće ostvariti kvalitetan prenos poruke multimodnim vlaknom.



Prenosni medijumi

Bežični prenosni medijumi

- predaja i prijem signala se ostvaruje pomoću antena, koje predstavljaju konvertore električnih signala visokih učestanosti u elektromagnetno zračenje (predajna antena) i obrnuto (prijemna antena).
- postoje dva tipa konfiguracije za bežični prenos:
 - direkcioni (predajna antena emituje fokusirani elektromagnetni snop, što zahtijeva precizno podešavanje predajne i prijemne antene kako bi se omogućio prijem emitovanih signala)i
 - omnidirekcioni (emitovani signal se prostire u svim pravcima i može biti primljen od strane više prijemnika koji su locirani u različitim pravcima od predajne antene.).
- generalno važi da je mogućnost fokusiranja signala u snop utoliko veća ukoliko je veća učestanost signala.
- Na prostiranje radio talasa dominantan uticaj ima slabljenje koje u slobodnom prostoru je dato formulom

$$L = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$$

- Pored slabljenja ne treba zaboraviti uticaje refleksije, difrakcije, i drugih efekata propagacije.

Prenosni medijumi

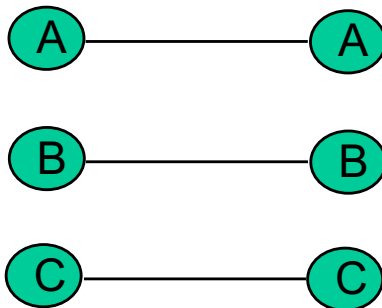
Bežični prenosni medijumi

- ❑ Frekvencijski opseg koji se koristi u lokalnim aplikacijama, je infracrveni dio elektromagnetnog spektra ($3 \times 10^{11} - 2 \times 10^{14}$ Hz). Ovaj opseg se koristi za lokalni prenos od tačke do tačke, obično u jednoj prostoriji.
- ❑ Prema IEEE definiciji, elektromagnetni talasi frekvencije između 30 i 300 GHz zovu se milimetarski talasi, jer je njihova talasna dužina između 1 i 10 mm. Frekvencije u opsegu od oko 2 GHz do 40 GHz nazivaju se i mikrotalasnim opsegom. U tom opsegu mogućnost fokusiranja signala je vrlo velika i mikrotalasi su pogodni za prenos od tačke do tačke, kao i za satelitske komunikacije. Milimetarski talasi se danas razmatraju za korišćenje u 5G mrežama.
- ❑ Frekvencije u opsegu od 30 MHz do 2 GHz su pogodne i za omnidirekcionu konfiguraciju tako da se taj opseg, između ostalog koristi za radio difuziju (difuzija - jednosmjerni prenos od jedne prema više tačaka) i mobilne telekomunikacione sisteme.

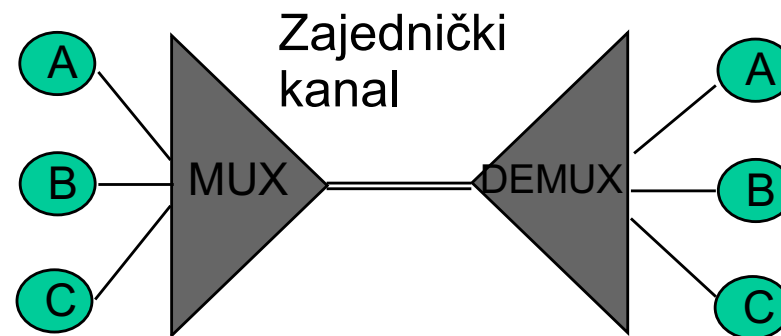
Multipleksiranje

- Multipleksiranje predstavlja zajedničko dijeljenje prenosnih kapaciteta (resursa) od strane više tokova podataka koji nose informacione podatke
 - Kanal = 1 žica, 1 optičko vlakno, ili 1 frekvencijski opseg
- Značajna ušteda se može postići kombinovanjem više tokova u jedan
 - Manje žica i cijevi; optičko vlakno mijenja hiljade kablova
- Potrebna je implicitna ili eksplicitna informacija za demultipleksiranje informacionih tokova.

(a)



(b)



Multipleksiranje

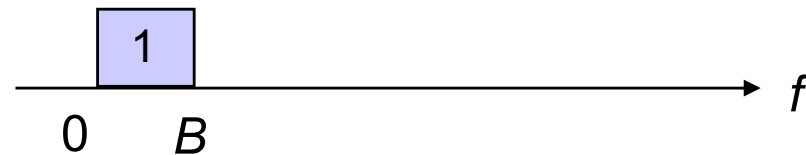
Klasifikacija:

- ❑ Frekvencijsko (FDM - Frequency Division Multiplexing)
- ❑ Talasno (WDM - Wavelength Division Multiplexing)
- ❑ Vremensko (TDM - Time Division Multiplexing)
- ❑ Statističko (StDM - Statistical Division Multiplexing)
- ❑ Kodno (CDM - Code Division Multiplexing)
- ❑ Prostorno (SpDM - Space Division Multiplexing)
- ❑ ...

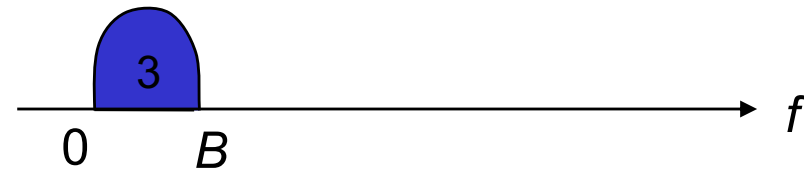
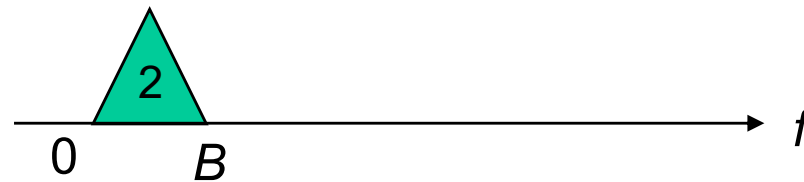
Multipleksiranje

Frekvencijsko (FDM - *Frequency Division Multiplexing*)

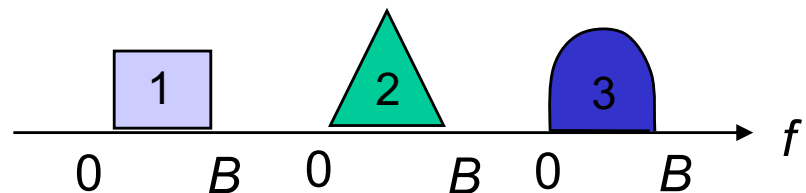
- Kanal je podijeljen na frekvencijske opsege



(a) Pojedinačni signal u osnovnom opsegu zauzima B Hz



(b) Kombinovani signali se smještaju u opseg frekvencijskog kanala



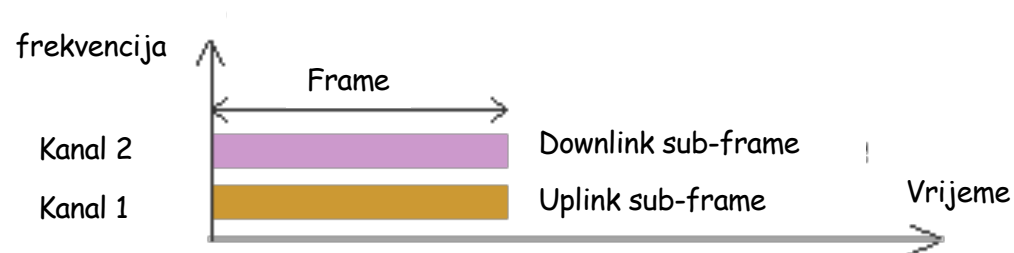
- Mora postojati razmak između opsega
- AM ili FM radio stanice
- TV stanice (etar ili kablovska)
- Analogni telefonski sistemi

Multipleksiranje

Frekvencijsko (FDM - Frequency Division Multiplexing)

Frequency division duplex (FDD)

- Prenos informacija u različitim smjerovima u različitim opsezima (DSL)

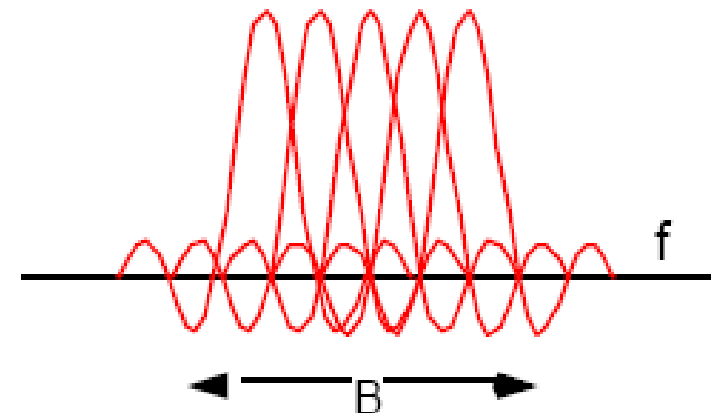


Multipleksiranje

Frekvencijsko (FDM - Frequency Division Multiplexing)

Orthogonal Frequency division multiplexing (OFDM)

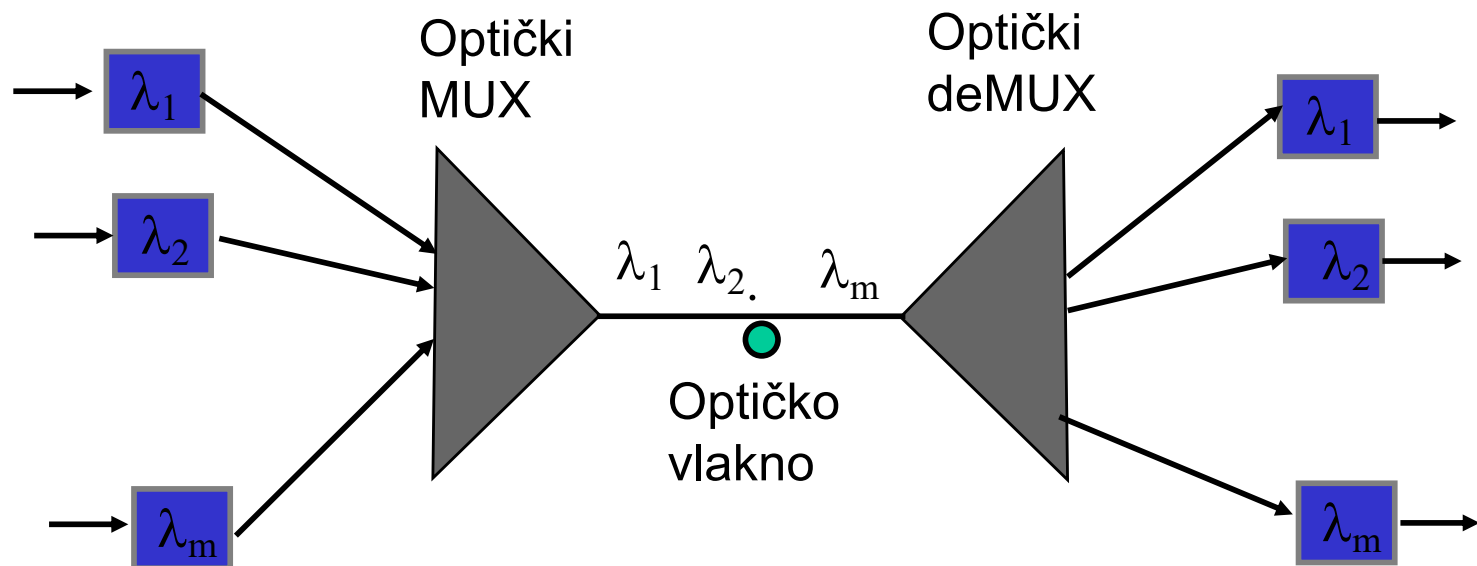
- ❑ Opsezi ortogonalnih nosilaca se preklapaju
- ❑ WLAN, ADSL, Digitalna televizija, FTTH...
- ❑ Razmak između nosilaca je $\Delta f = k/T$, gdje je T trajanje simbola, a k je uglavnom konstanta.
- ❑ Za N nosilaca širina iskorišćenog spektra je približno $N\Delta f$
- ❑ Koristi se FFT (Fast Fourier Transformation)
- ❑ Osjetljiv na ICI (Inter Carrier Interference) uzrokovane Doplerovim pomjerajem frekvencija i nesinhronizaciju u frekvencijskom domenu
- ❑ U uslovima multipath fading-a pokazuje bolje performanse od single carrier tehnika



Multipleksiranje

Talasno (WDM - *Wavelength-division multiplexing*)

- Optičko vlakno (najčešće jezgra $9\mu\text{m}$) može da nosi više talasnih dužina
 - Od nekoliko (4-8) do mnogo (64-160) talasnih dužina po jednom optičkom vlaknu
- Svaka talasna dužina nosi signal
 - Svaki signal može biti različitog formata
 - npr. 1 Gb/s, 2.5 Gb/s, ili 10 Gb/s



Multipleksiranje

Talasno (WDM - *Wavelength-division multiplexing*)

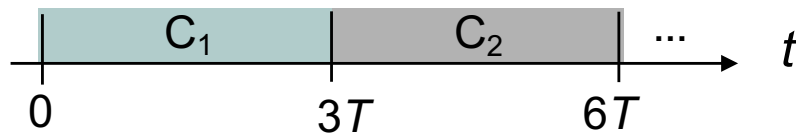
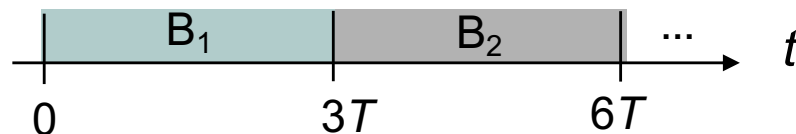
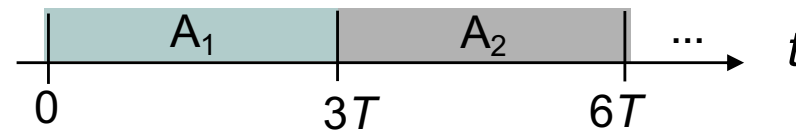
- *Coarse WDM (CWDM)* prenosi do 8 aktivnih talasnih dužina.
- *Dense WDM (DWDM)* prenosi više od 8 aktivnih talasnih dužina

Multipleksiranje

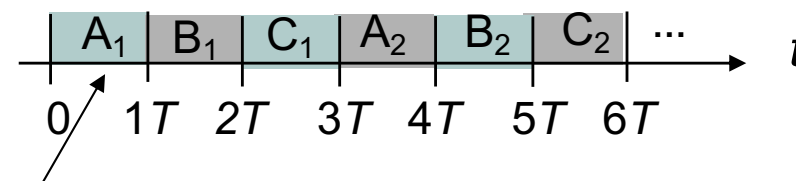
Vremensko (TDM - *Time-division multiplexing*)

□ Digitalni kanal se dijeli u vremenu na vremenske odbirke

(a) Svaki signal prenosi jedan odbirak svakih $3T$ sekundi



(b) Kombinovani signal prenosi jedan odbirak svakih T sekundi



Primjeri

- ISDN
- GSM (TDMA)
- Digitalna transportna mreža (SDH)
- Pasivna optička mreža (PON)

Multipleksiranje

Vremensko (TDM - *Time-division multiplexing*)

□ Time division duplex (TDD)

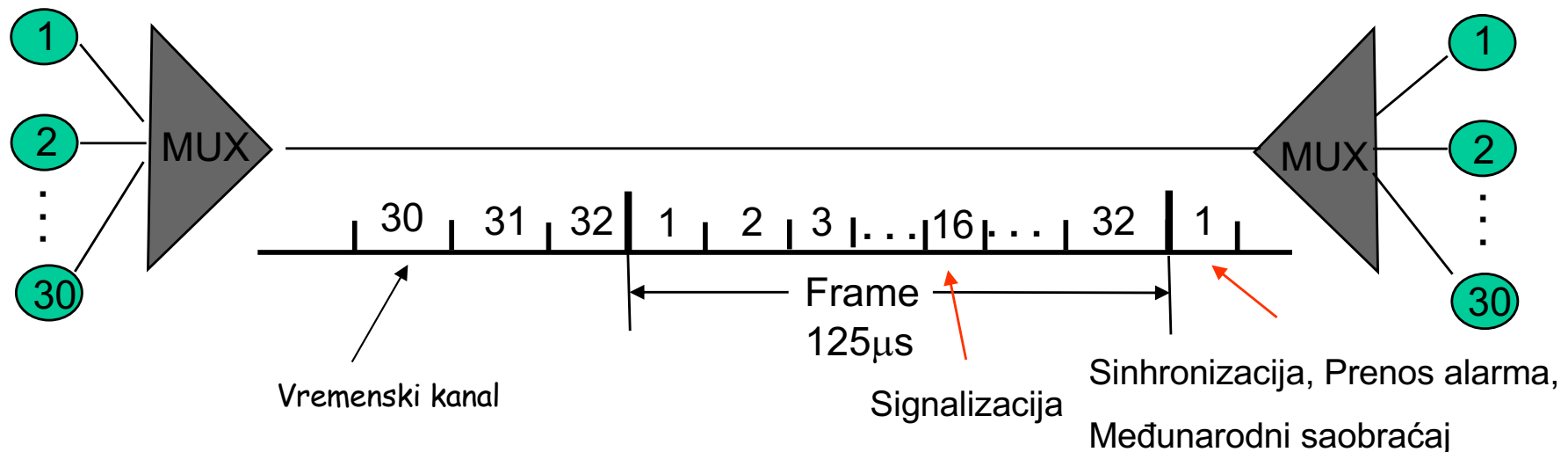
- Različiti smjerovi u komunikaciji se postižu u istom frekvencijskom opsegu samo što se informacije prenose u različitim vremenskim slotovima



Multipleksiranje

Vremensko (TDM - *Time-division multiplexing*)

- ❑ E-1 prenosni system kombinuje 30 govornih kanala, kanal za sinhronizaciju i kanal za signalizaciju u jedan digitalni stream.
- ❑ CCITT G.704 i G.732
- ❑ AMI (*Alternate Mark Inversion*) - HDB3 (*High Density Bipolar 3*) kod
- ❑ CEPT-1 (*Committee European de Post et Telegraph*)



Brzina prenosa = 8000 frejmova/s x (8 x 32) b/frejmu = 2.048 Mb/s

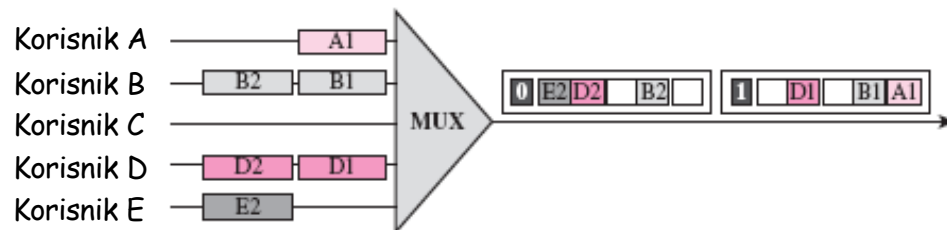
- ❑ Postoji i US standard (T1) koji nije kompatibilan sa E1

Multipleksiranje

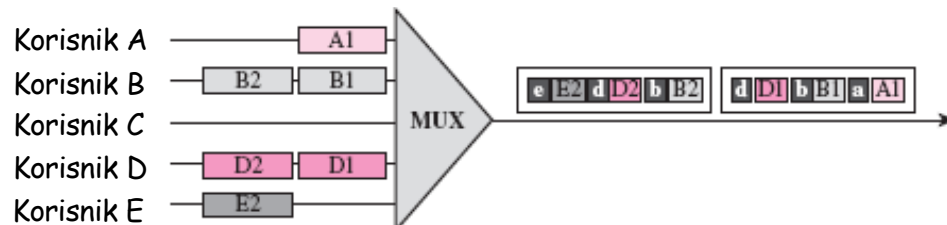
Statističko (StDM - *Statistical division multiplexing*)

- Sekvence poruka u vremenskom multipleksu korisnika A & B nemaju fiksni sadržaj
- Korisnik dobija onoliko slobodnih slotova koliko mu je potrebno ili koliko mu dodijeli *scheduler*.

TDM



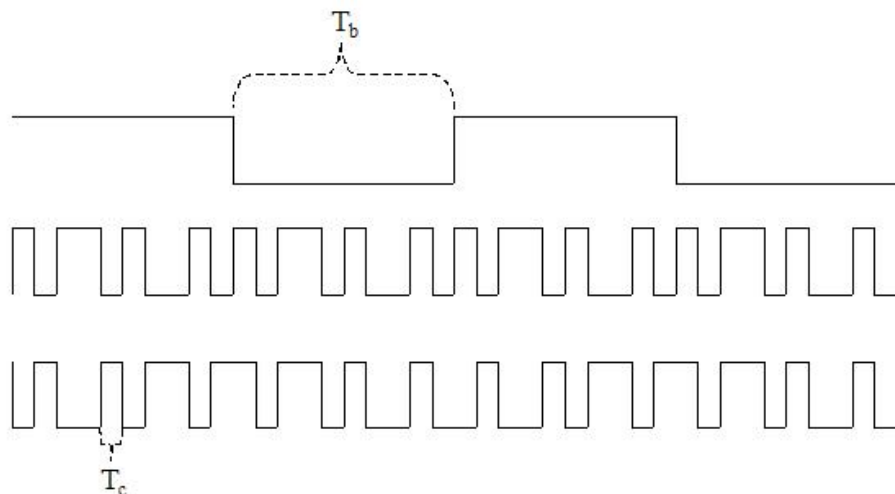
StDM



Multipleksiranje

Kodno (CDM - *Code Division Multiplexing*)

- ❑ Istovremeno zauzimanje telekomunikacionog resursa (najčešće radio kanala) od strane više korisnika
- ❑ Tehnika prenosa proširenim spektrom
- ❑ Svaki korisnik ima svoj kod
- ❑ Opseg signala koji se prenosi je značajno širi od opsega originalnog signala
- ❑ Na prijemu se primljeni signal množi pseudoslučajnom sekvencom (XOR). Ako se pseudoslučajne sekvence predajnika i prijemnika poklapaju može se izvršiti detekcija i obrada signala. U suprotnom, zbog ortogonalnosti sekvenci proizvod postaje 0.



Signal koji nosi podatke (S)

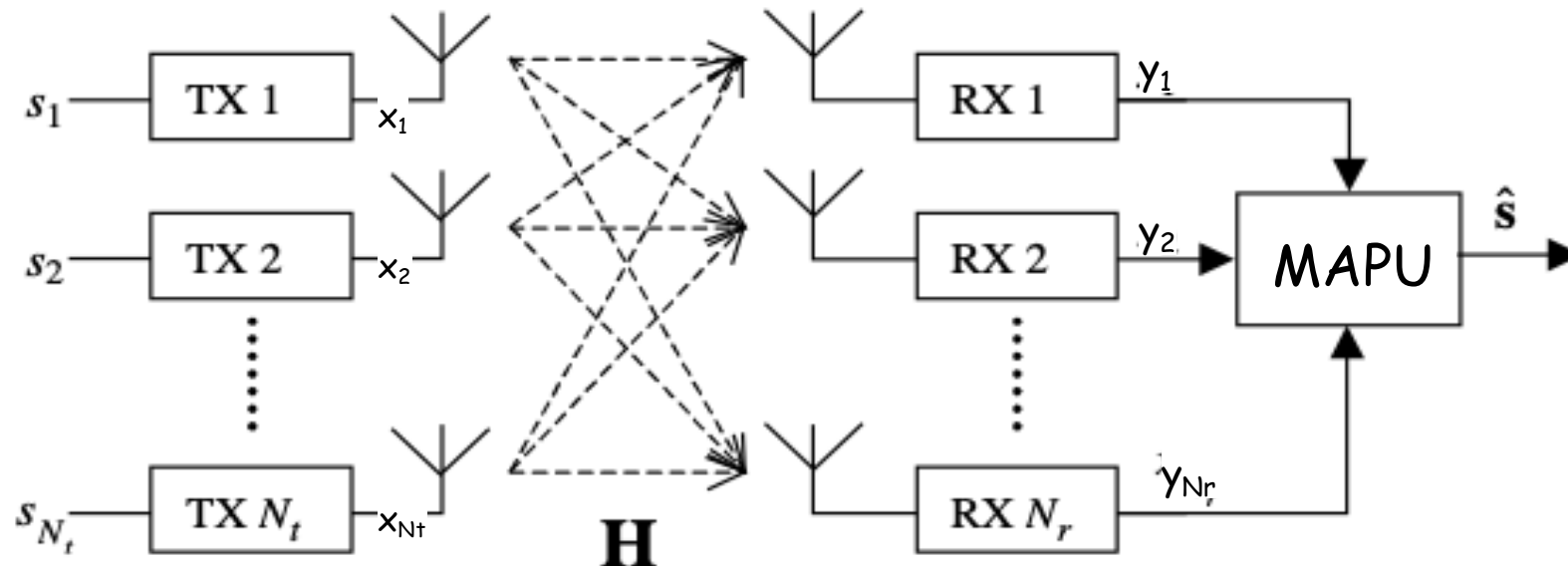
Pseudoslučajna sekvenca (P)

Signal koji se prenosi:
 $S \text{ XOR } P$

Multipleksiranje

Prostorno (SpDM - *Space Division Multiplexing*)

- Tehnika prenosa u bežičnim MIMO komunikacijama koja omogućava prenos nezavisnih i odvojenih kodiranih signala (tokova-streams) od svake od više predajnih antena.
- Ovdje se isti fizički prostor koristi više puta.



MAPU (Multi Antenna Processing Unit)

TX - predajnik

RK -prijemnik

H - matrica kanala

n - šum

$$Y = HX + n$$

Nivo linka

Servisi nivoa linka

- ❑ Kreiranje frejmova, dodavanje zaglavlja, začelja
- ❑ Kontrola pristupa prenosnom medijumu ako je zajednički za više korisnika
- ❑ Pouzdani prenos između dva uređaja koja su direktno povezani
 - Detekcija greške
 - Korekcija greške
- ❑ Kontrola protoka
- ❑ Kontrola zagušenja
- ❑ ...

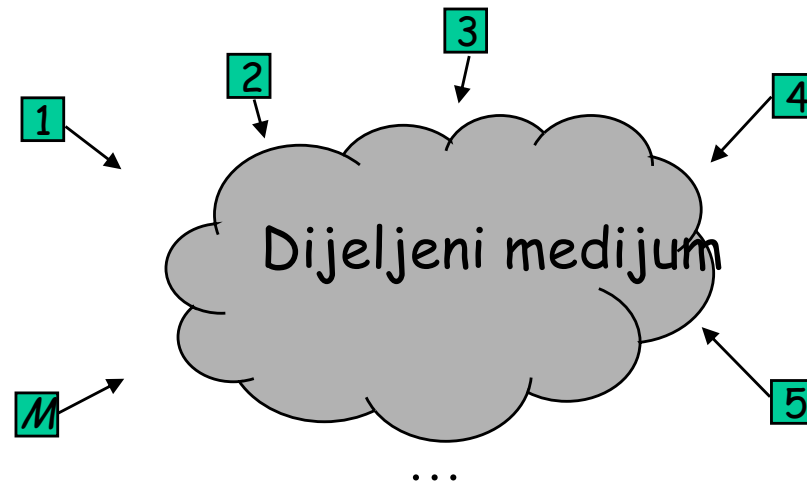
Nivo linka

- ❑ Protokoli nivoa linka su zaduženi za ispravan prijenos podataka preko linka koji povezuje dva uređaja
- ❑ Blok podataka koji se prenosi se naziva frame
- ❑ Nivo linka je implementiran u hardware
- ❑ Najpoznatiji standardi (protokoli nivoa linka) su
 - Ethernet (IEEE 802.3)
 - WiFi (IEEE 802.11)
 - 4G (3GPP release 11)
 - 5G (3GPP release 15)

Nivo linka

Kontrola pristupa prenosnom medijumu

- ❑ *Medium Access Control (MAC)*
- ❑ Dijeljeni medijum je karakteristika difuznih mreža
 - Niska cijena
 - Radio, koaksijalac, bakarna parica
 - M korisnika difuzno šalju podatke na medijum
- ❑ Ključno pitanje: Kako dijeliti medijum?



Nivo linka

Kontrola pristupa prenosnom medijumu

Tehnike dijeljenja medijuma

Statička dodjela kanala

Dinamička kontrola pristupa

- Dijeljenje medijuma na kanale alocirane korisnicima
- Satelitski prenos
- Celularna telefonija

Scheduling

- *Polling* (prozivka)
- Rezervacija (slanje zahtjeva)
- *Token ring*
- WLAN

Random access

- Nema koordinacije
- Slanje, čekanje i ponovno slanje ako je potrebno
- Aloha
- *Ethernet*
- WLAN

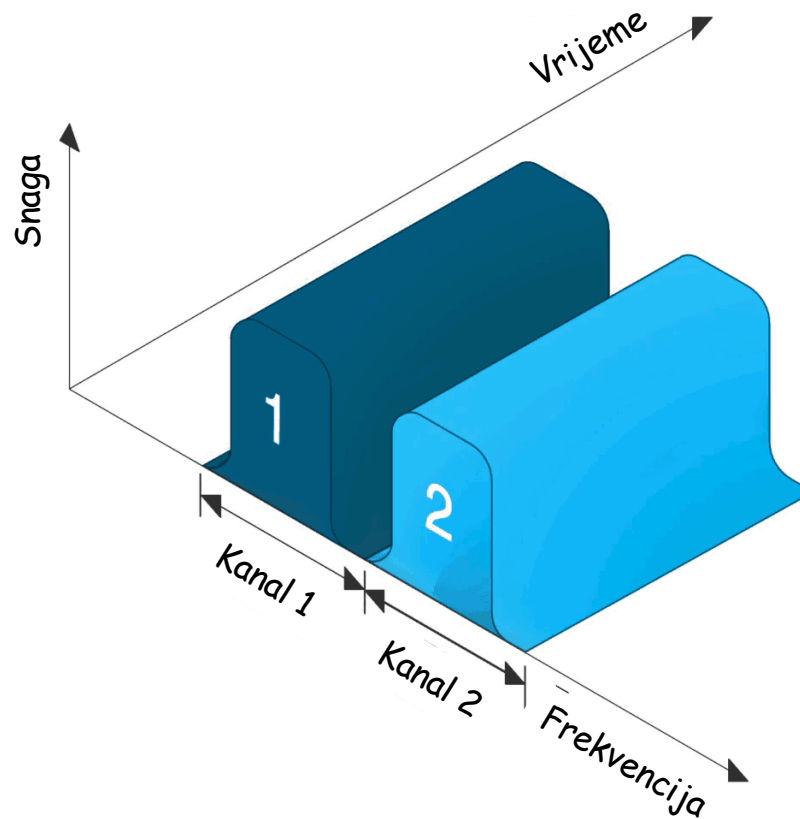
Nivo linka

Kontrola pristupa prenosnom medijumu

Statička dodjela kanala

Frequency division multiple access (FDMA)

- Pristup više korisnika baziran na frekvencijskom multipleksu

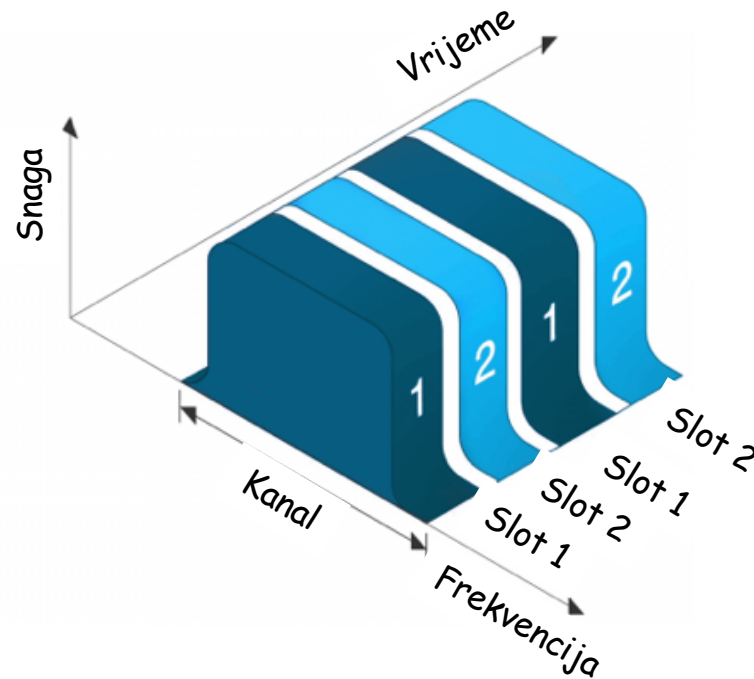


Nivo linka

Kontrola pristupa prenosnom medijumu

Statička dodjela kanala

- *Time division multiplex access* (TDMA)
 - Više korisnika pristupa većem broju kanala koji se dijele u vremenu

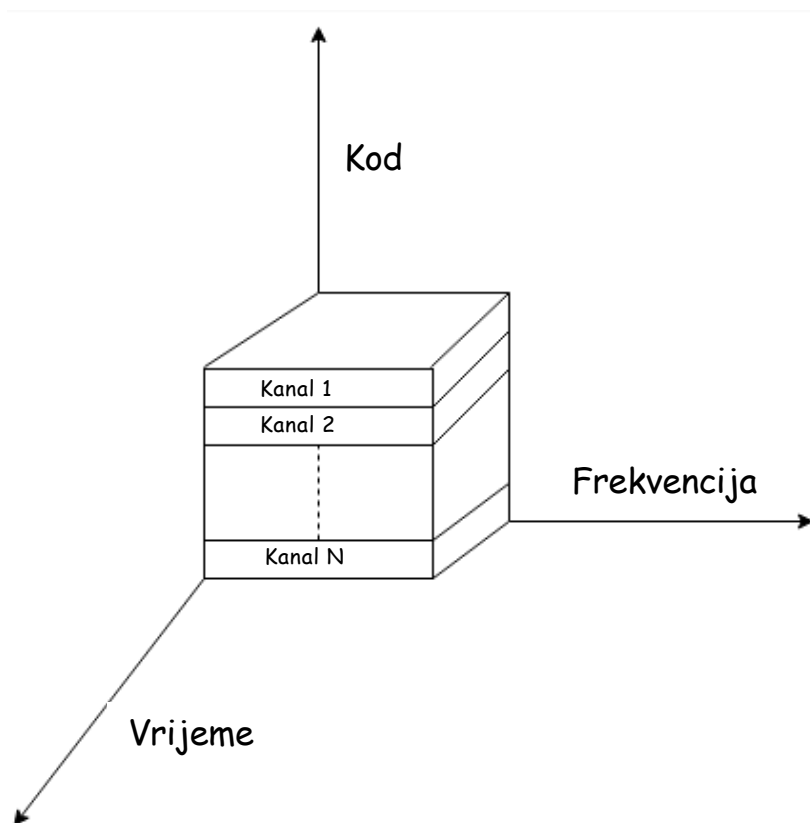


Nivo linka

Kontrola pristupa zajedničkom medijumu

Statička dodjela kanala

- *Code division multiple access (CDMA)*



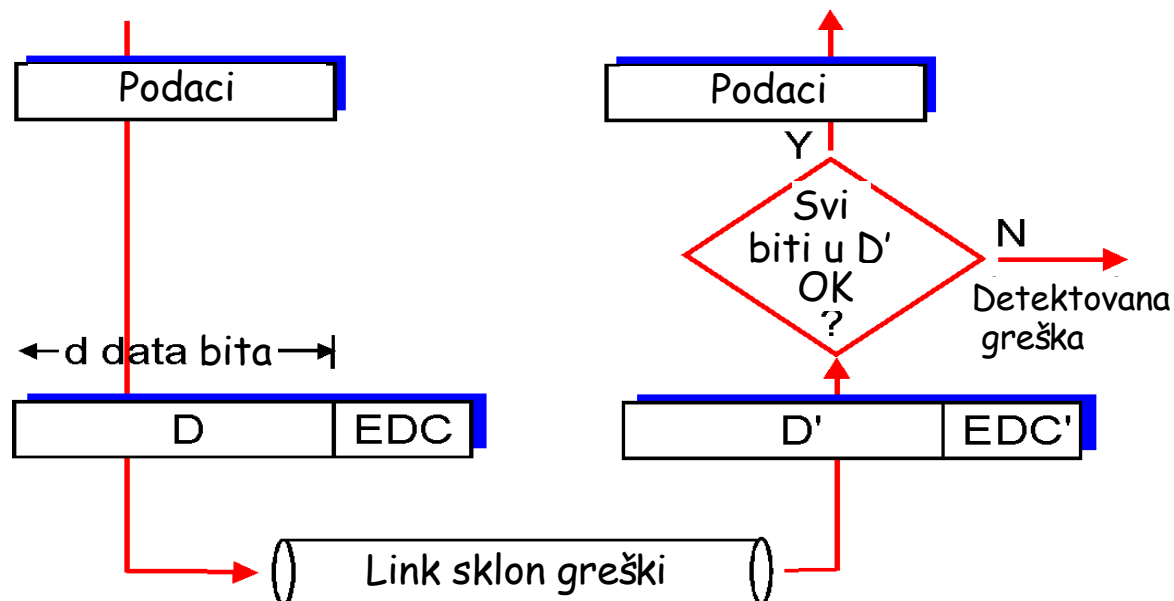
Nivo linka

Detekcija greške

EDC= Biti detekcije i korekcije greške (redundansa)

D = Podaci zaštićeni provjerom greške, mogu uključivati polja zaglavlja

- ❑ Detekcija greške nije 100% pouzdana
 - ❑ protokol može propustiti neke greške
 - ❑ veće EDC polje vodi boljoj detekciji i većoj mogućnosti korekciji
- ❑ Provjera parnosti, Internet *checksum*, CRC,...



Nivo linka

Korekcija greške

- ❑ Nakon detekcije greške potrebno je korigovati grešku
- ❑ Korekcija se može obaviti na dva načina
 - Pronalaženjem i ispravljanjem pogrešno prenesenih bita
 - Zahtijevanjem ponovnog slanja ili retransmisije podataka koji su loše preneseni
- ❑ Pronalaženje i ispravljanje pogrešno prenesenih bita je složenije rješenje koje unosi i dodatno kašnjenje tako da se rijetko koristi na nivou linka
- ❑ Ponovno slanje ili retransmisija je trenutno dominantno rješenje na nivou linka

Komutacija

ITU-T Definicija

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

Komutacija

Klasifikacija

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

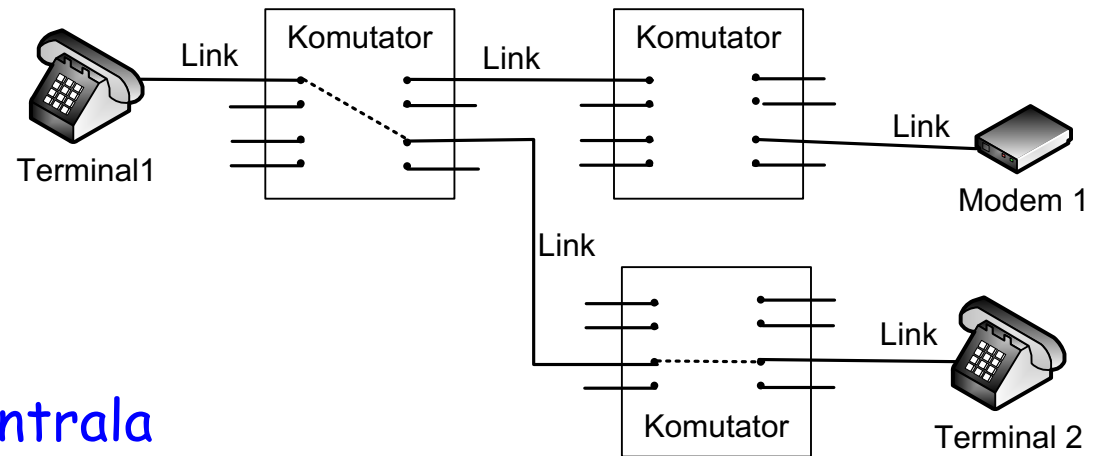
2. Komutacija na principu uskladišti i proslijedi

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)
 5. Hibridna

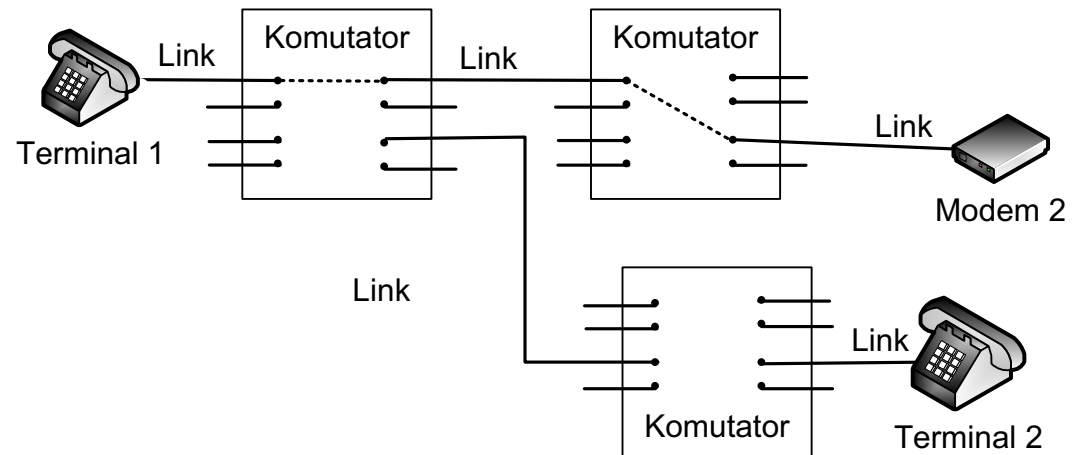
Komutacija

Komutacija kola

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



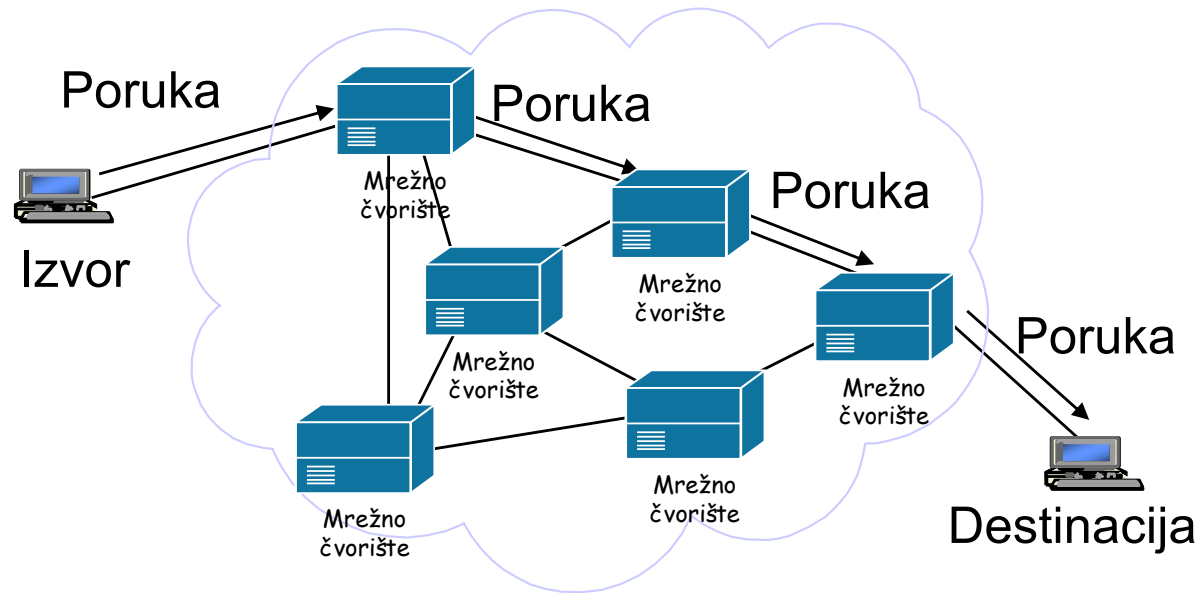
a)



b)

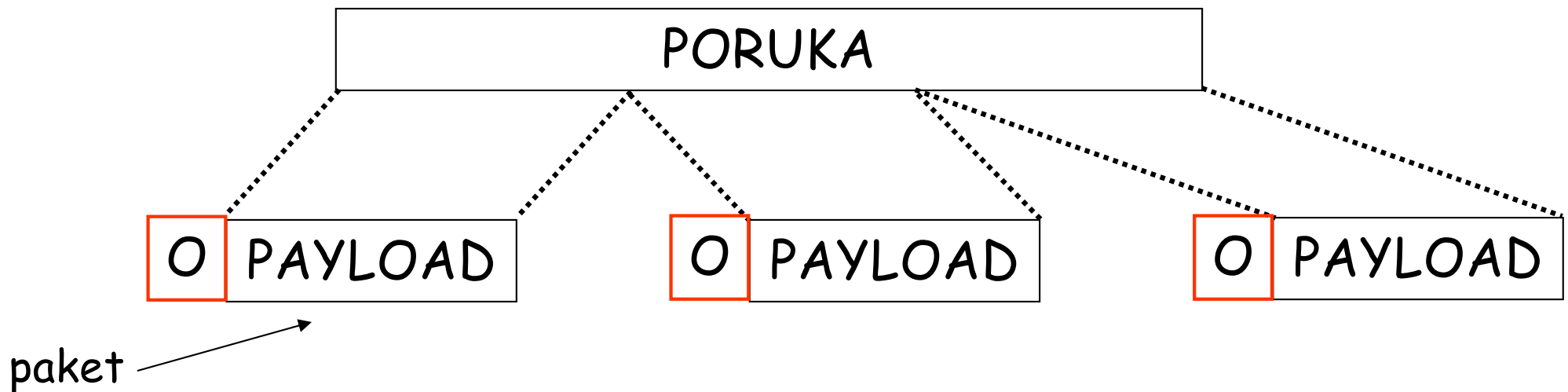
Komutacija

Komutacija poruka



Komutacija

Komutacija paketa



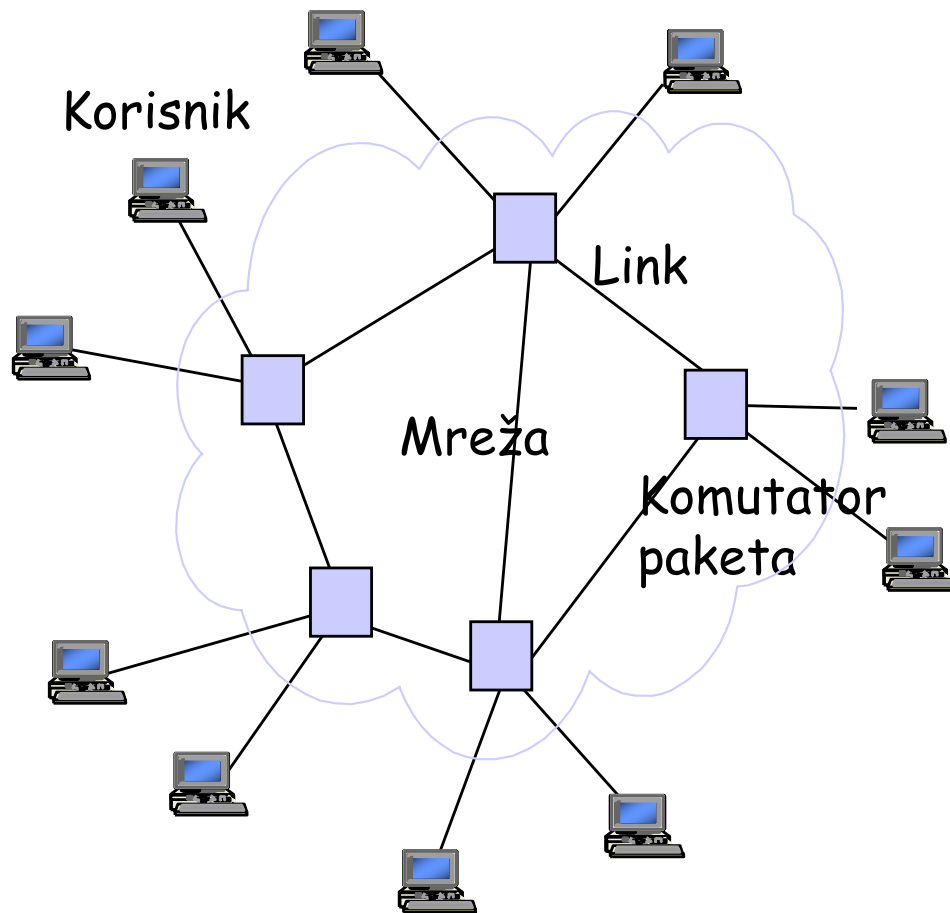
PAYLOAD - korisni dio paketa

OVERHEAD ili ZAGLAVLJE - nosi razne kontrolne informacije

(adresu pošiljaoca, adresu primaoca, broj segmenta poruke, kod za pronalaženje greške,...)

Komutacija

Komutacija paketa



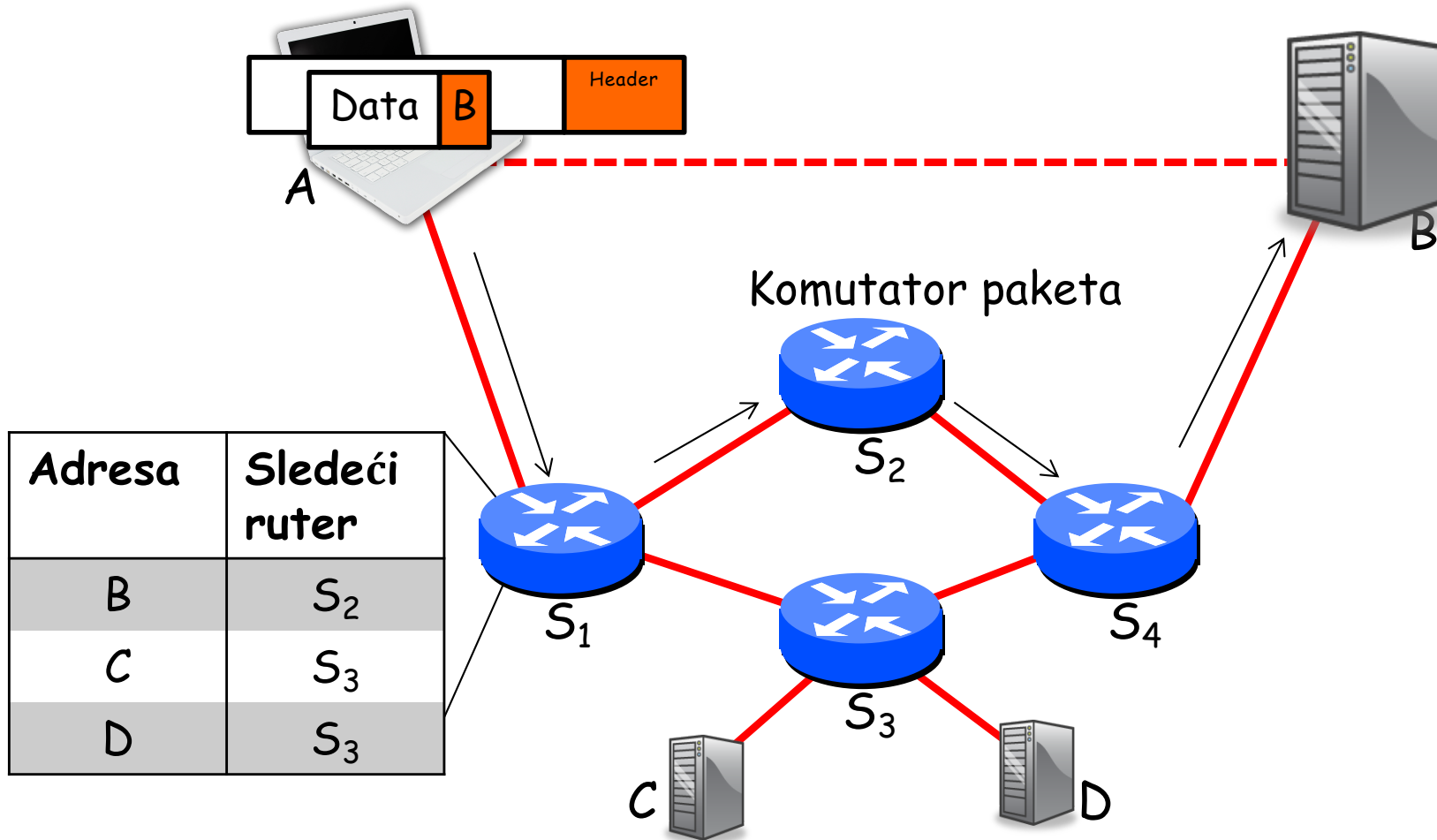
- Prenos paketa između korisnika
- Međupovezani komutatori paketa

Tipovi:

- Nekonektivni (datagram)
- Konektivni
 - Virtuelno kolo
 - Labela
 - Tok
- Hibrid

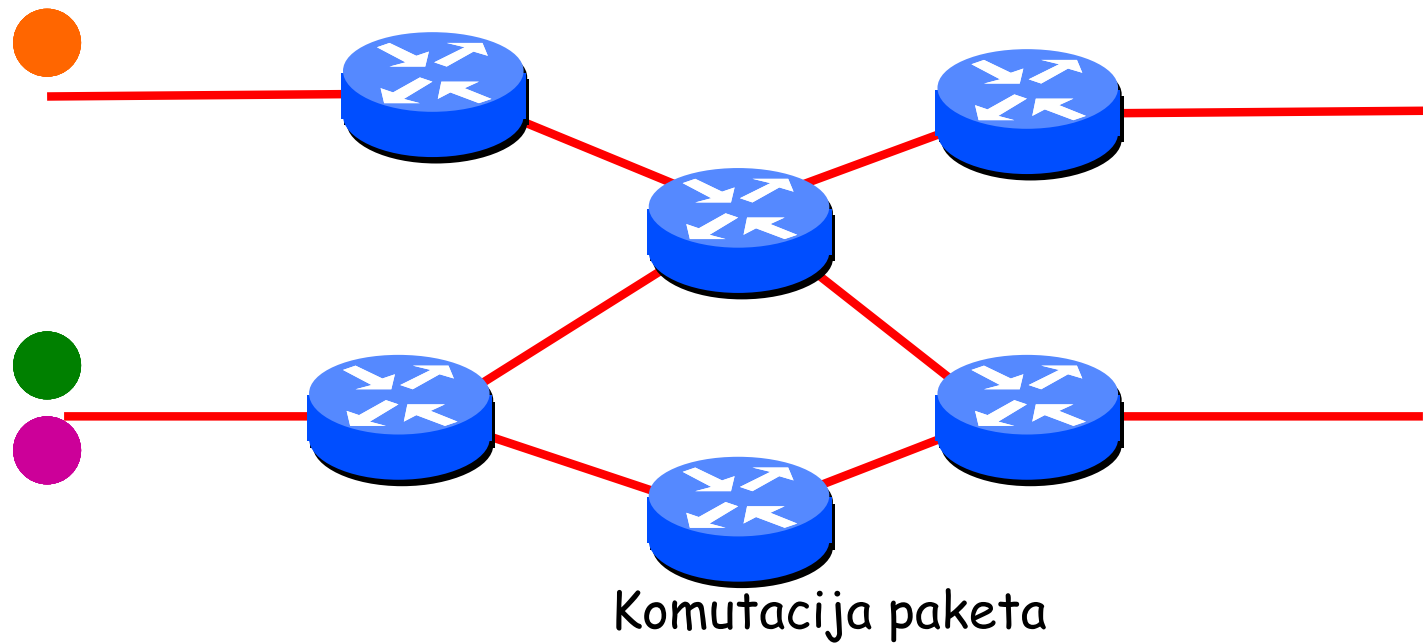
Komutacija

Komutacija paketa



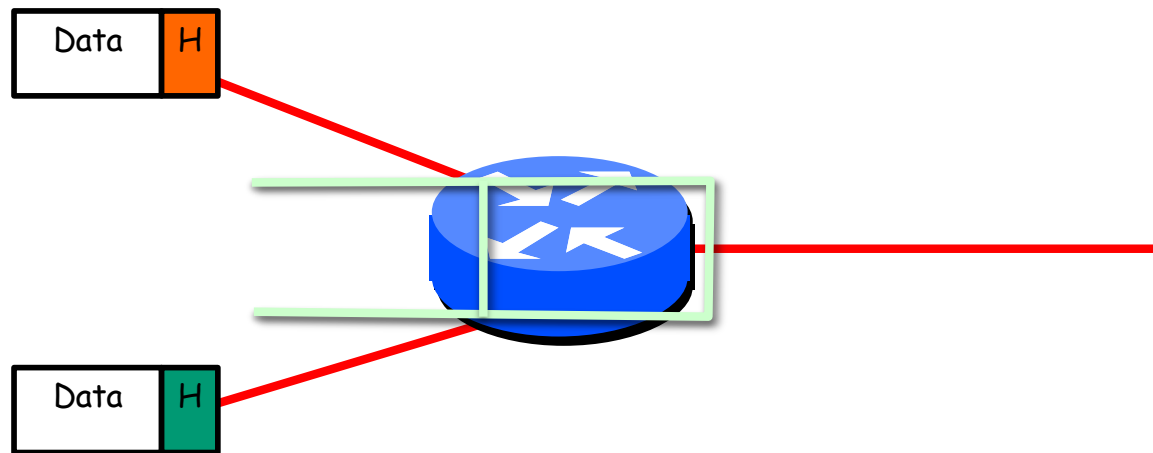
Komutacija

Komutacija paketa



Komutacija

Komutacija paketa



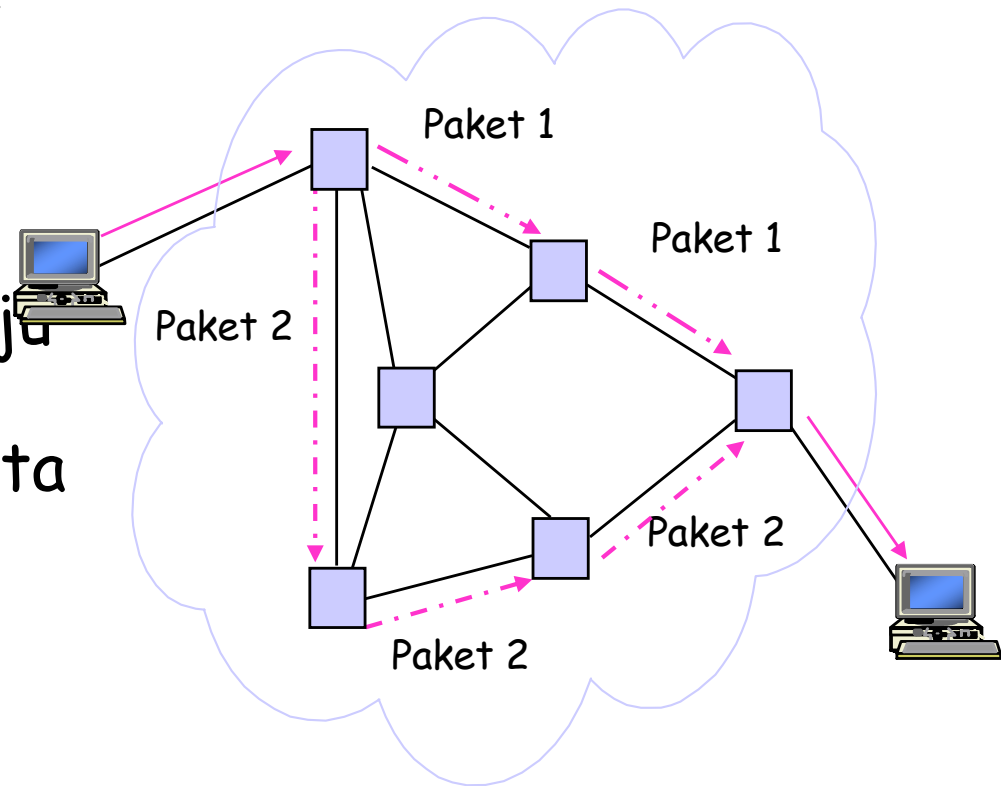
Baferi čuvaju pakete:

- Kada više paketa stignu istovremeno
- Tokom perioda zagušenja
- Statističko multipleksiranje

Komutacija

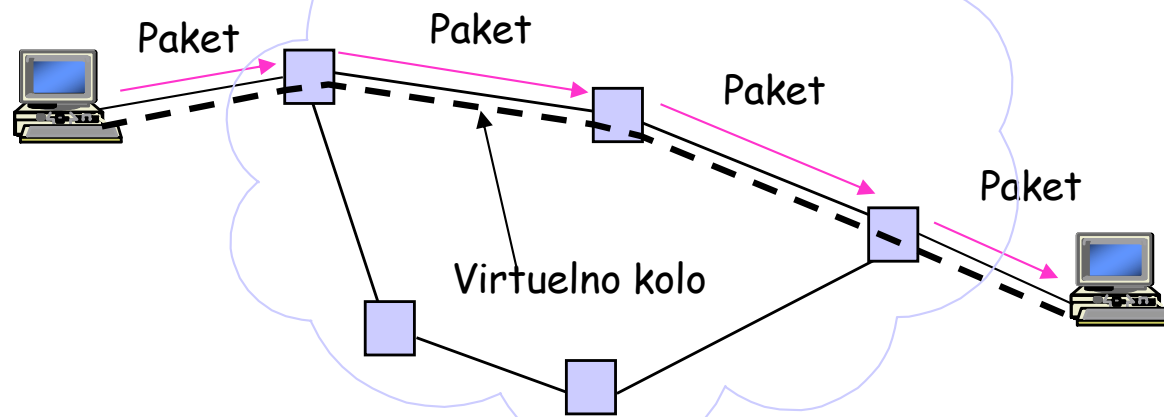
Komutacija paketa (datagrama)

- ❑ Poruke se dijele na pakete
- ❑ U zaglavlje paketa se upisuju adrese izvorišta i odredišta
- ❑ Paketi se rutiraju nezavisno
- ❑ Paketi mogu na destinaciju stići van redosleda
- ❑ Istovremeni prenos paketa smanjuje kašnjenje i povećava propusnost
- ❑ Unosi manje kašnjenje nego komutacija poruka



Komutacija

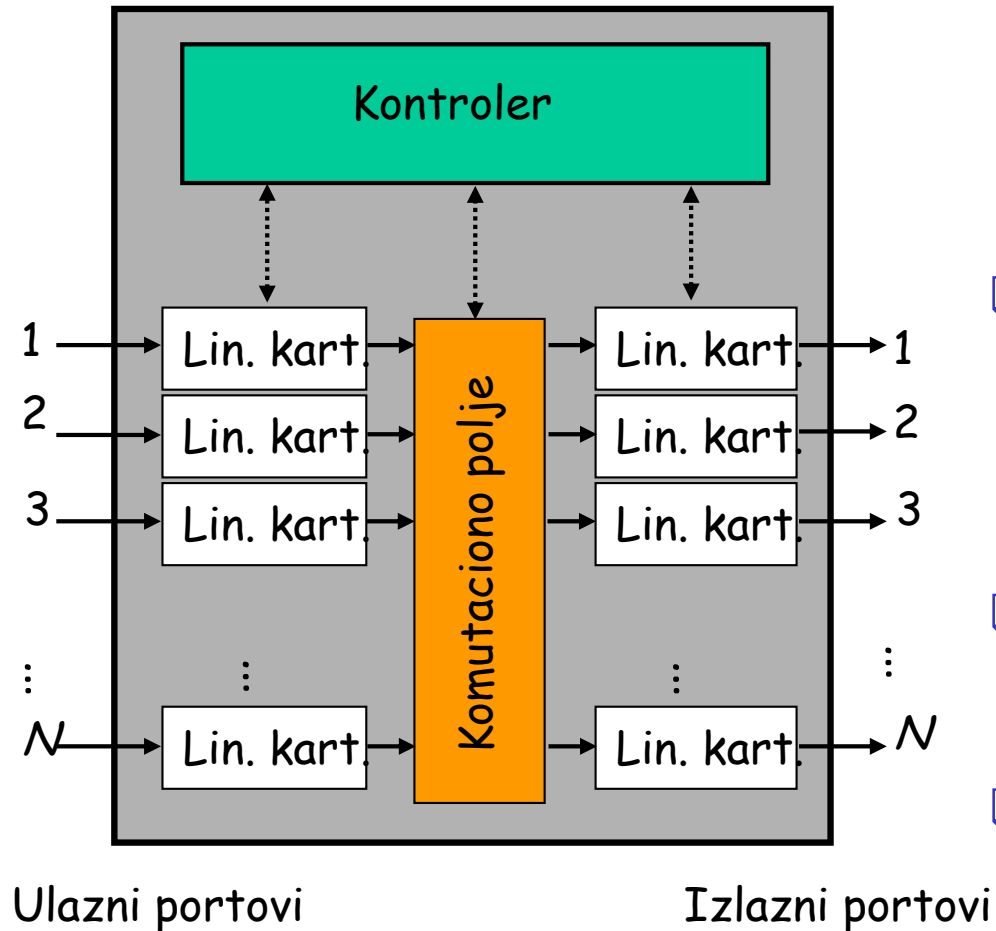
Komutacija paketa (virtuelno kolo)



- ❑ Faza uspostavljanja kola rezerviše resurse na fiksnom putu u mreži
- ❑ Svi se paketi prenose jednom putanjom
- ❑ Polje u zaglavlju identifikuje konekciju na svakom linku
- ❑ Paketi se baferuju prije slanja
- ❑ Varijabilne brzine prenosa su moguće, a "ugovaraju" se prilikom uspostavljanja veze
- ❑ Kašnjenje varira i veće je nego kod komutacije kola

Komutacija

Komutator paketa

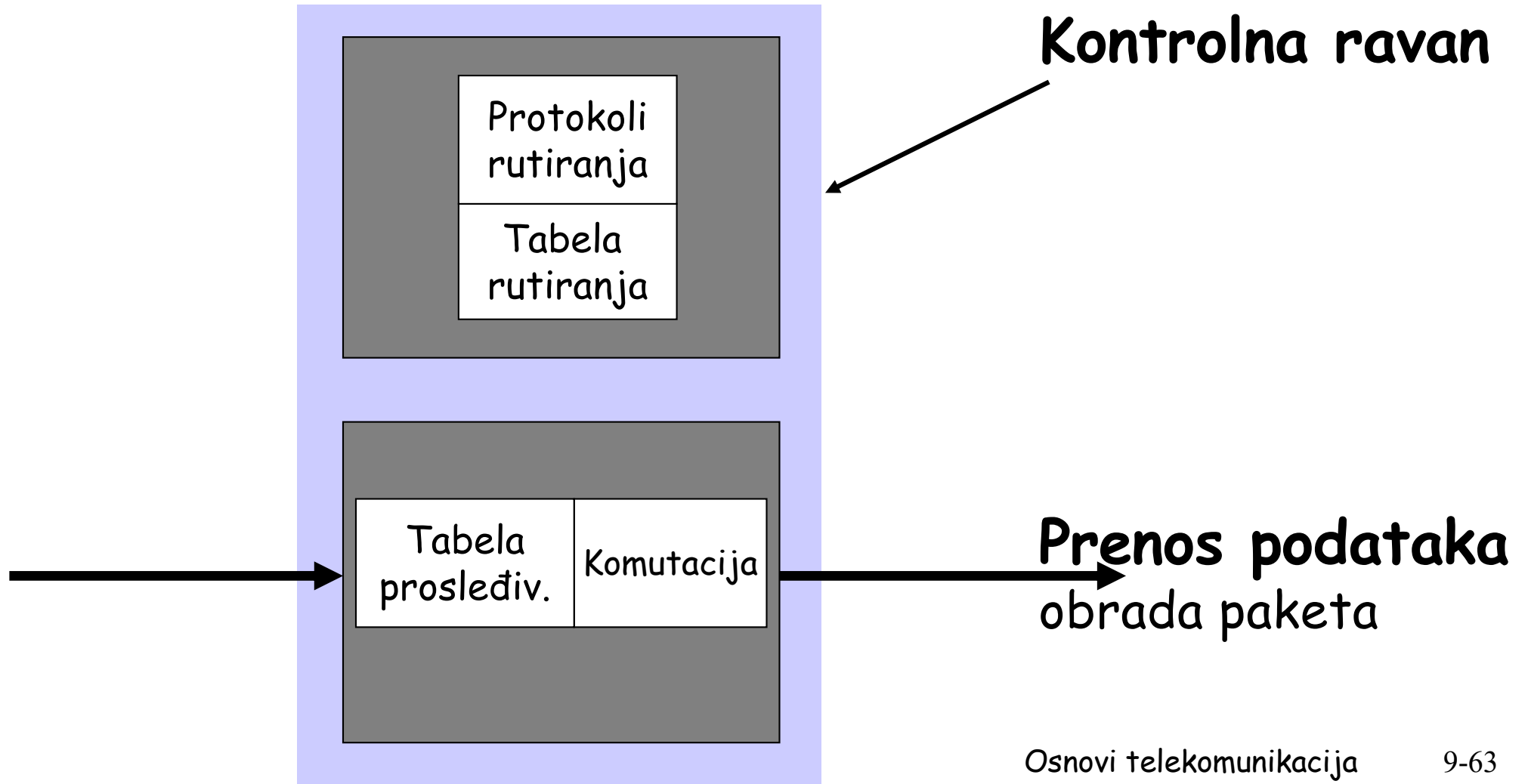


— Putevi podataka
..... Kontrolni putevi (a)

- Ulazne linijske kartice
 - Obrada zaglavlja
 - Demultipleksiranje
 - Rutiranje u velikim komutatorima
- Kontroler
 - Rutiranje u malim komutatorima
 - Signalizacija & alokacija resursa
- Komutaciono polje
 - Prenos paketa između linijskih kartica
- Izlazne linijske kartice
 - Raspoređivanje & prioritet
 - Multipleksiranje

Komutacija

Ruter



Internet

Šta je Internet u fizičkom smislu?

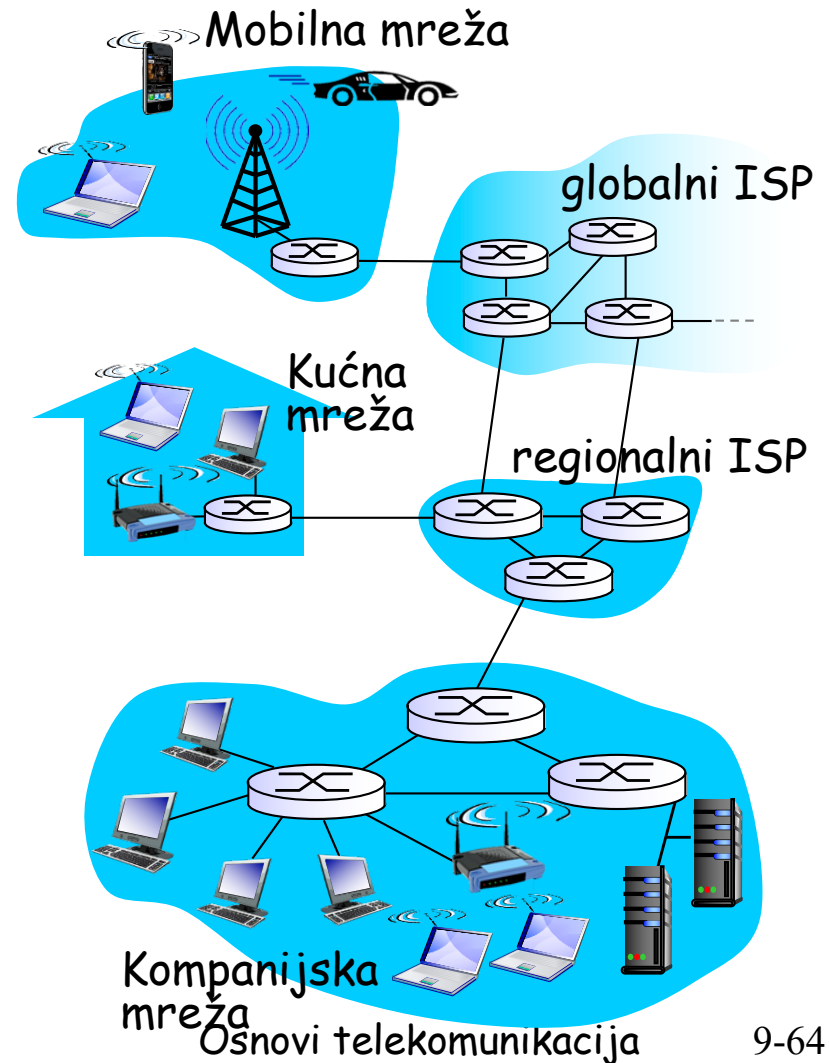


□ Mreža na koju je povezano milijarde računara:

1. *host = krajnji sistem*
2. Izvršavaju *mrežne aplikacije*

❖ *Komunikacioni linkovi*

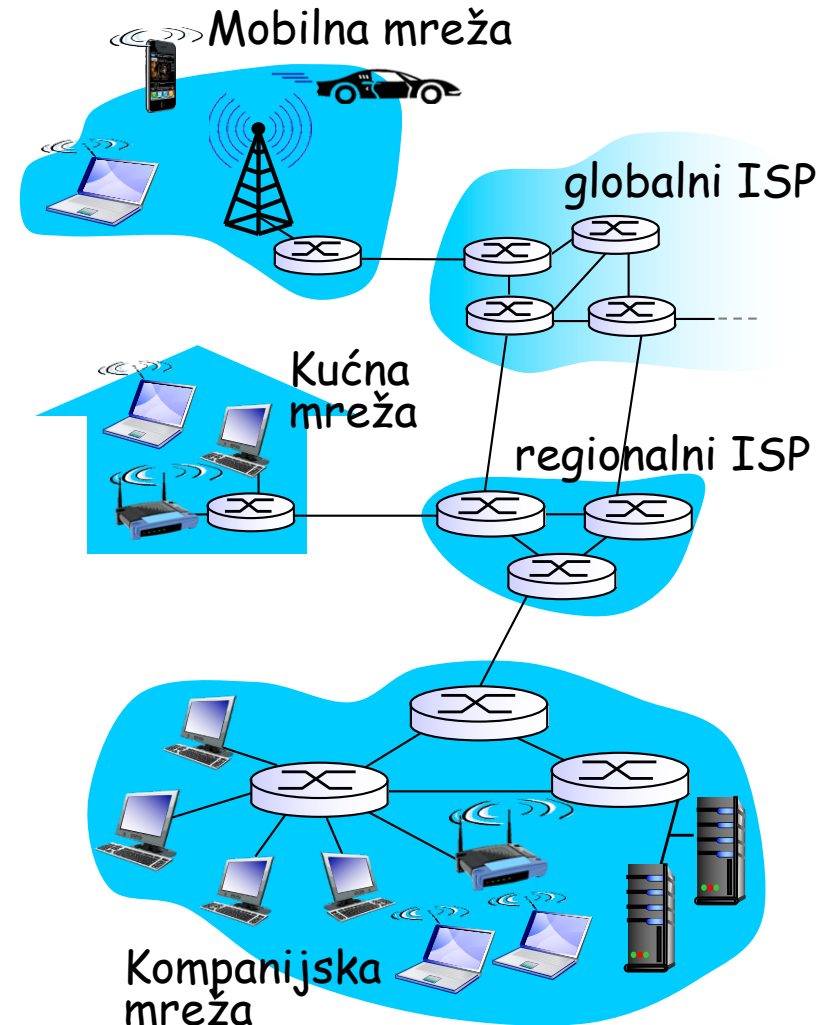
- Optičko vlakno, bakarna žica, radio, satelit
- Brzina prenosa: *bandwidth*



Internet

Šta je Internet u logičkom smislu?

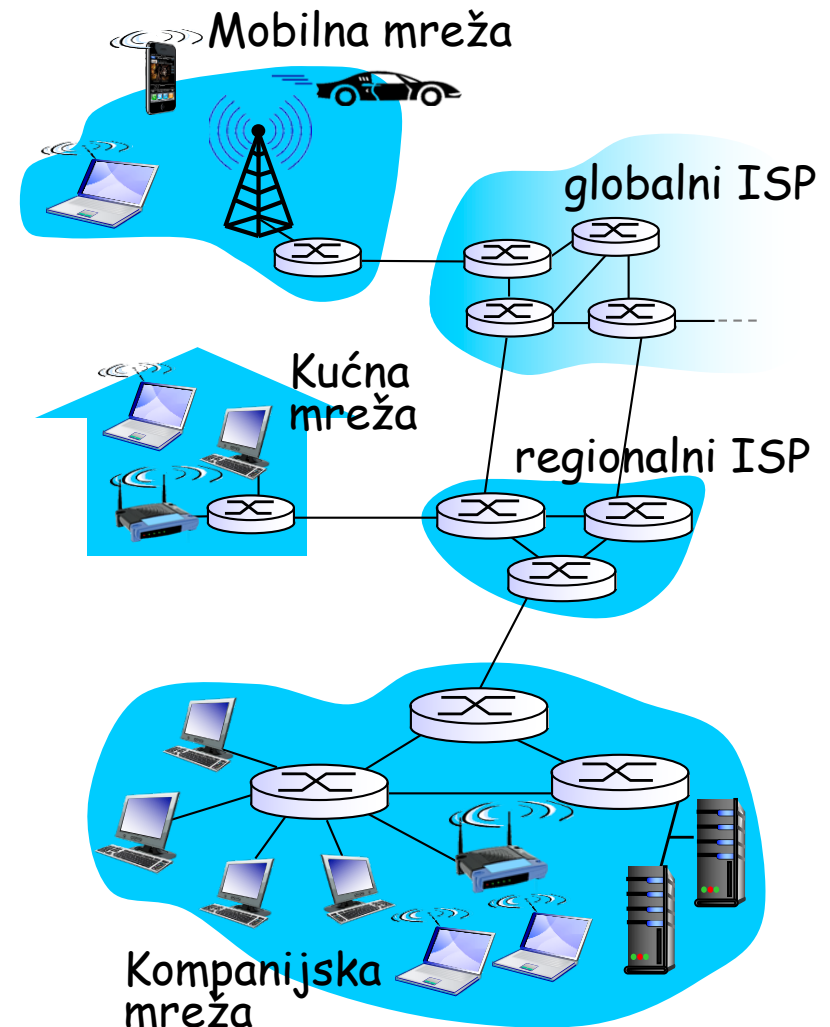
- *Protokoli* kontrolišu slanje i prijem poruka
 1. npr, TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- *Internet: “mreža svih mreža”*
 1. Labava hijerarhija
 - Javni Internet
 - privatni intranet
- Internet standardi
 1. RFC: Request for comments
 2. IETF: Internet Engineering Task Force



Internet

Šta je Internet u smislu usluge koju pruža?

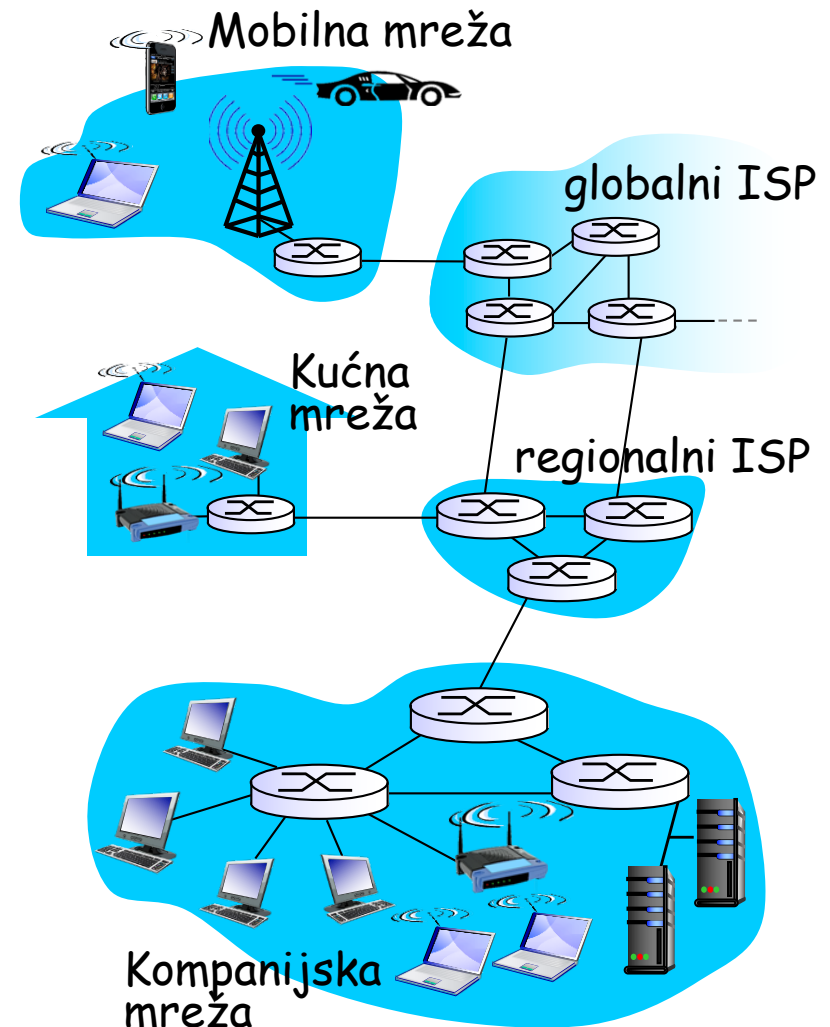
- *Komunikaciona infrastruktura* koja omogućava komunikaciju između distribuiranih aplikacija:
 1. Web, email, igrice, e-commerce, baze podataka, društvene mreže, file sharing
- *Omogućava programabilni interfejs do aplikacija*
 1. "veza" koja omogućava aplikacijama da šalju i primaju podatke sa Interneta
 2. Omogućava opcije servisa, analogne poštanskom servisu



Internet

Struktura Interneta

- ❑ **Mrežna ivica:** aplikacije i hostovi (klijenti i serveri)
- ❑ **Mrežna okosnica:**
 1. međupovezani ruteri
 2. mreža međupovezanih mreža
- ❑ **Pristupna mreža, fizički medijum:** komunikacioni linkovi (žični i bežični)



Internet

Ivica mreže Interneta

□ Krajni sistemi (hostovi):

1. izvršavaju aplikativne programe
2. npr. Opera, Safari, Outlook,...
3. na "ivici mreže"

□ Aplikacije

1. klijent/server model

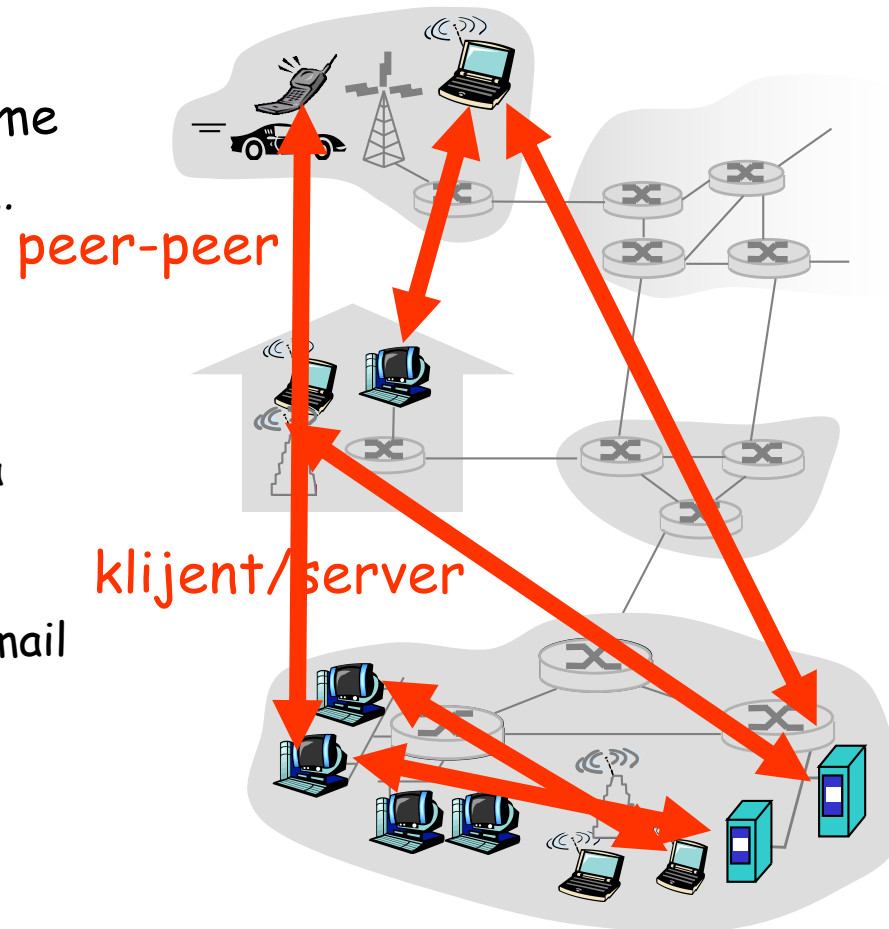
- klijent host zahtijeva, dobija servis od "uvijek dostupnog" servera
- npr. Web browser/server; email klijent/server

2. peer-peer (P2P) model:

- minimalno (ili ne) korišćenje dodijeljenih servera

3. hibrid

- Neke funkcije KS, a neke P2P
- Skype, BitTorrent



Internet

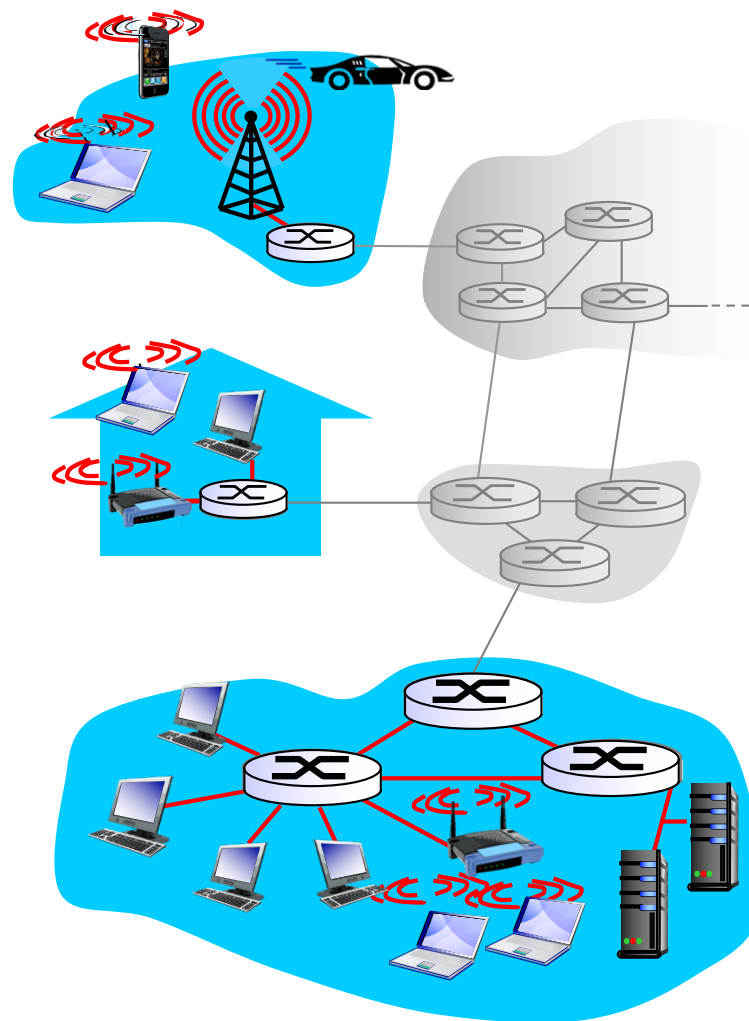
Pristupne mreže Interneta

Pitanje: Kako povezati krajnji sistem na edge ruter?

- ❑ Rezidencijalne pristupne mreže
- ❑ Institucionalne pristupne mreže (kompanije, ustanove,...)
- ❑ Mobilne pristupne mreže

Važno je obratiti pažnju na

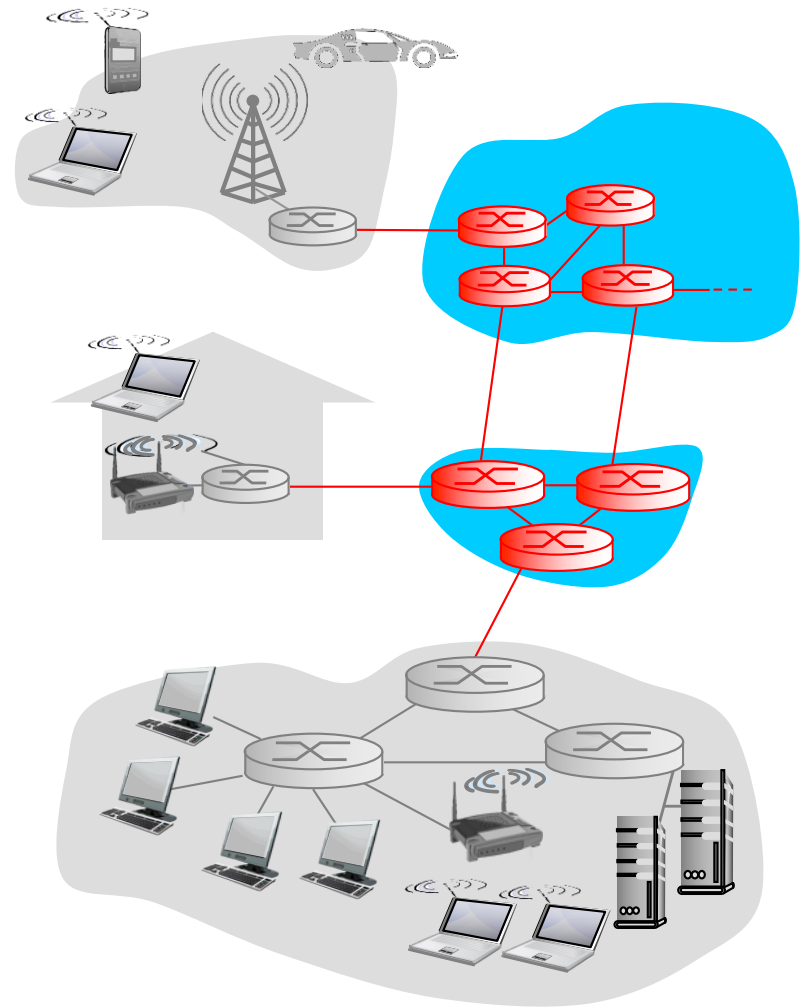
- ❑ kapacitet (b/s) pristupne mreže?
- ❑ zajednički ili dodijeljeni?



Internet

Okosnica Interneta

- ❑ Skup međupovezanih rutera
- ❑ **Komutacija paketa (packet switching):**
 1. Poruke se šalju preko mreže u djelovima (paketima) iz kojih se na destinaciji rekonstruiše poruka
 2. Poruke se prosleđuju od rutera do rutera
 3. Svaki paket se prenosi maksimalnom brzinom prenosa koju obezbeđuje link



Internet

Arhitektura (ponavljanje)

- ❑ **Aplikacija:** podržava mrežne aplikacije
 - FTP, SMTP, STTP
- ❑ **Transport:** host-host prenos podataka
 - TCP, UDP
- ❑ **Mreža:** rutiranje datagrama od izvora do destinacije
 - Internet Protocol (IP), rutirajući protokoli
- ❑ **Link :** prenos podataka između susjednih mrežnih elemenata
 - PPP, Ethernet
- ❑ **Fizički:** biti “po žici”



Bežične i mobilne mreže

Motivacija

- ❑ Zainteresovanost korisnika za pristup Internetu bilo gdje i bilo kada!
- ❑ Postizanje približne brzine prenosa i nivoa kašnjenja u bežičnom pristupu kao kod žičnog pristupa
- ❑ Podržati što je veću moguću mobilnost uz veliku brzinu prenosa.
- ❑ Obzirom na veliku zainteresovanost tržišta primijeniti trenutno najmodernija i najbolja tehnološka rješenja.

Fakta

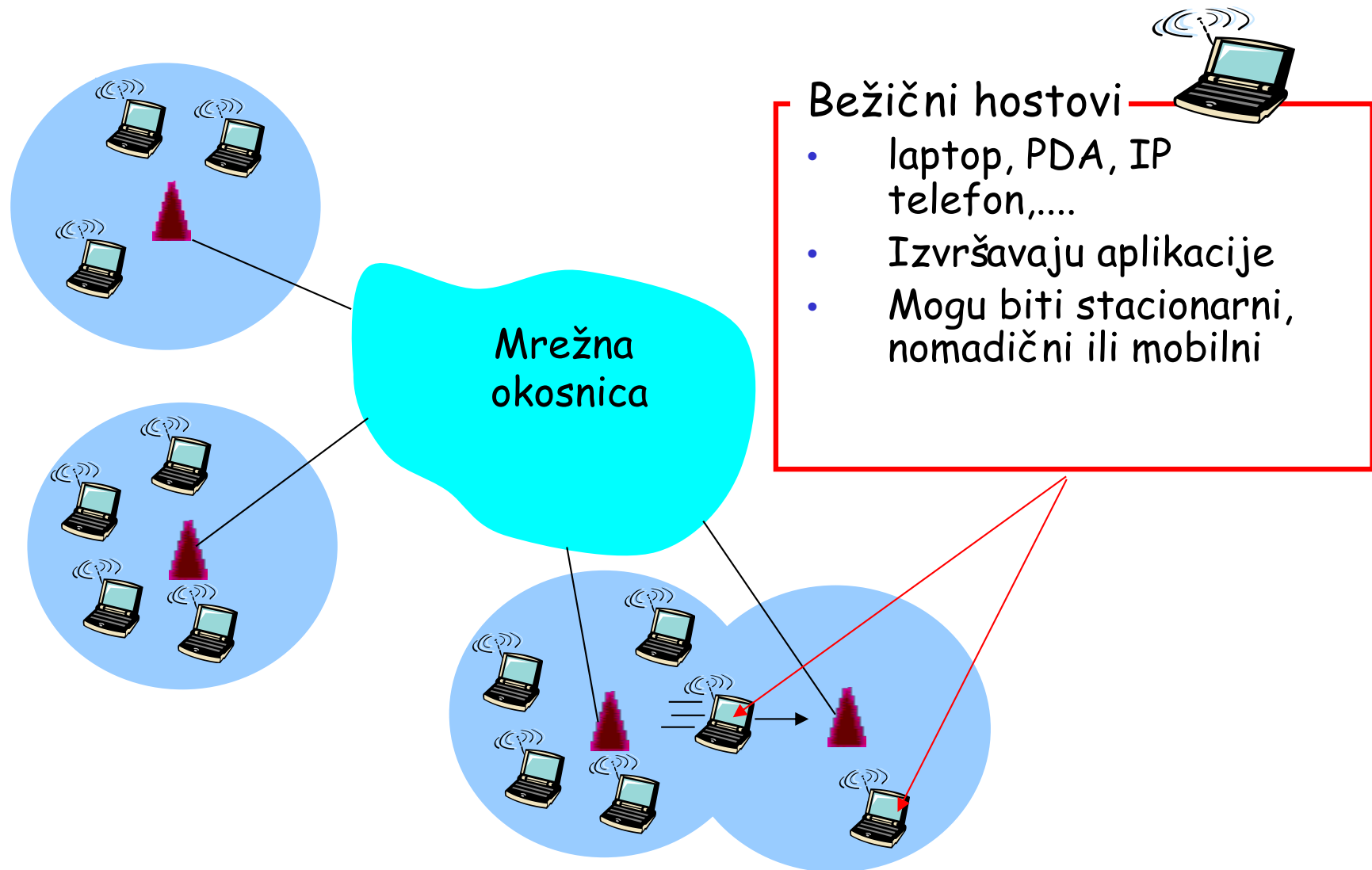
- ❑ Broj korisnika bežičnih (mobilnih) komunikacija višestruko premašuje broj korisnika koji koriste žične telekomunikacione tehnologije
- ❑ Broj bežični(mobilnih) uređaja je veći od broja žičnih uređaja za pristup Internetu

Terminologija

- ❑ Bežično znači prenos informacija bežičnim linkom
- ❑ Mobilnost predstavlja neprekidnost telekomunikacionog servisa bez obzira na njegovo kretanje i promjenu pozicije sa koje pristupa telekomunikacionoj mreži. Bežično ne znači i mobilno!

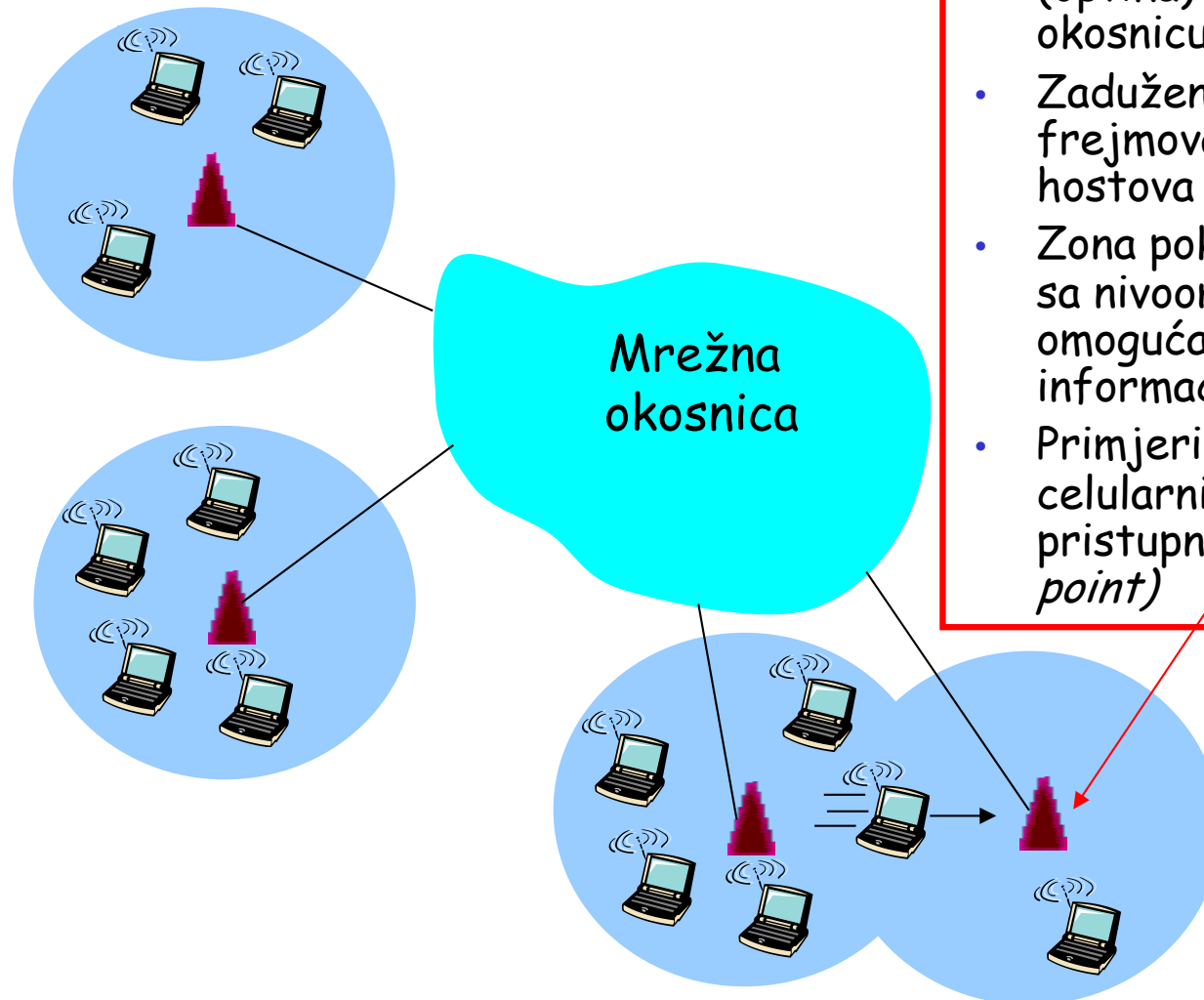
Bežične i mobilne mreže

Elementi bežične mreže



Bežične i mobilne mreže

Elementi bežične mreže

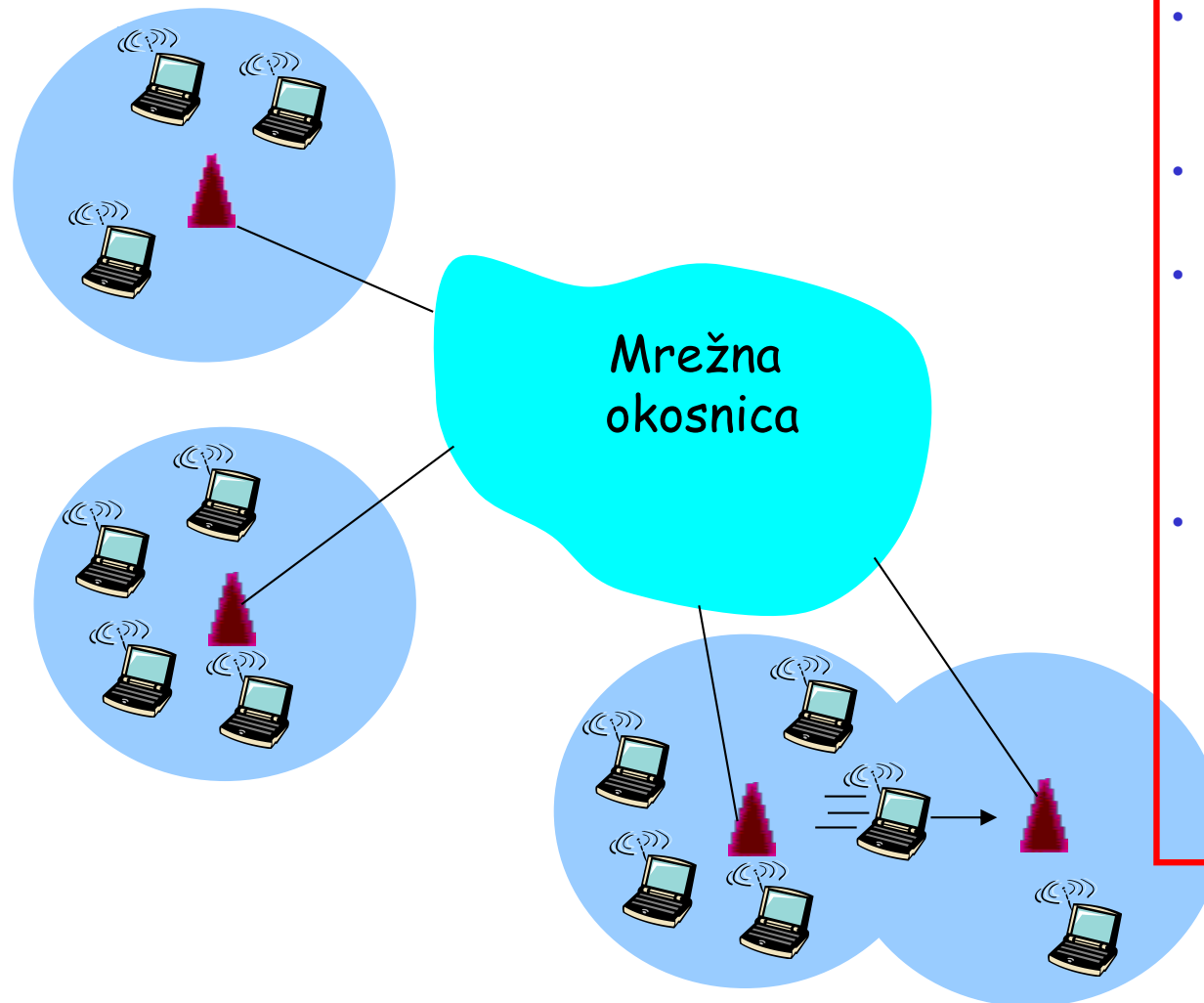


bazna stanica

- Tipično se povezuje na žičnu (optika) ili bežičnu mrežnu okosnicu
- Zadužena za slanje i prijem frejmova ka i od bežičnih hostova
- Zona pokrivanja je prostor sa nivoom signala koji omogućava uspješan prijem informacije
- Primjeri: bazne stanice celularnih mreža, 802.11 pristupna tačka (*access point*)

Bežične i mobilne mreže

Elementi bežične mreže



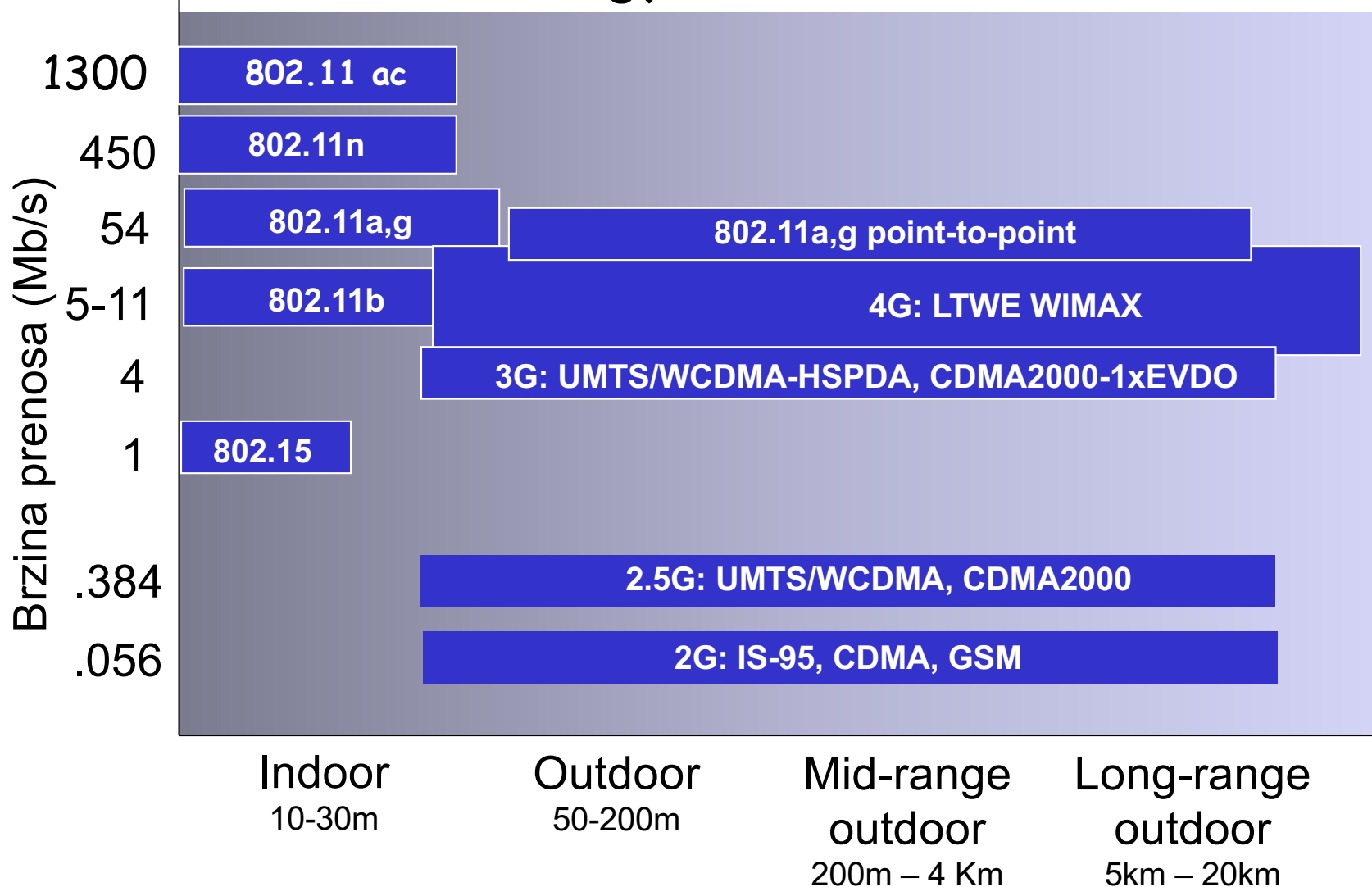
bežični link



- Vrsta prenosnog medijuma kojima se hostovi povezuju na pristupnu tačku
- Može se koristiti i za linkove na okosnici
- Više uređaja može istovremno zahtijevati zauzimanje bežičnog linka tako da je neophodan protokol kontrole višestrukog pristupa
- Bežični linkovi se razlikuju prema:
 - Korišćenim opsezima
 - Modulacijama
 - Tehnikama kodiranja
 - Brzinama prenosa
 - Dometom...

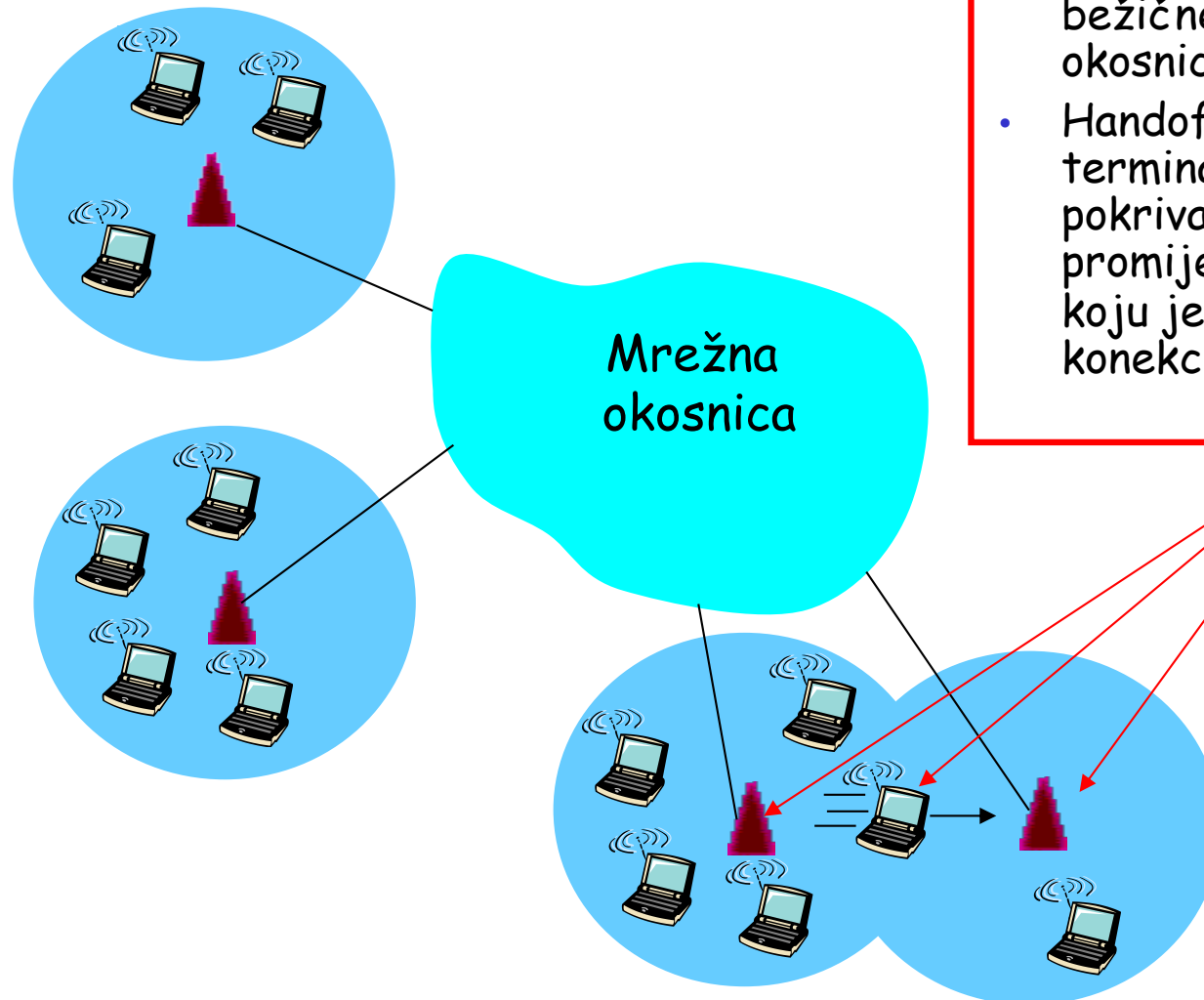
Bežične i mobilne mreže

Odabrane bežične tehnologije



Bežične i mobilne mreže

Elementi bežične mreže

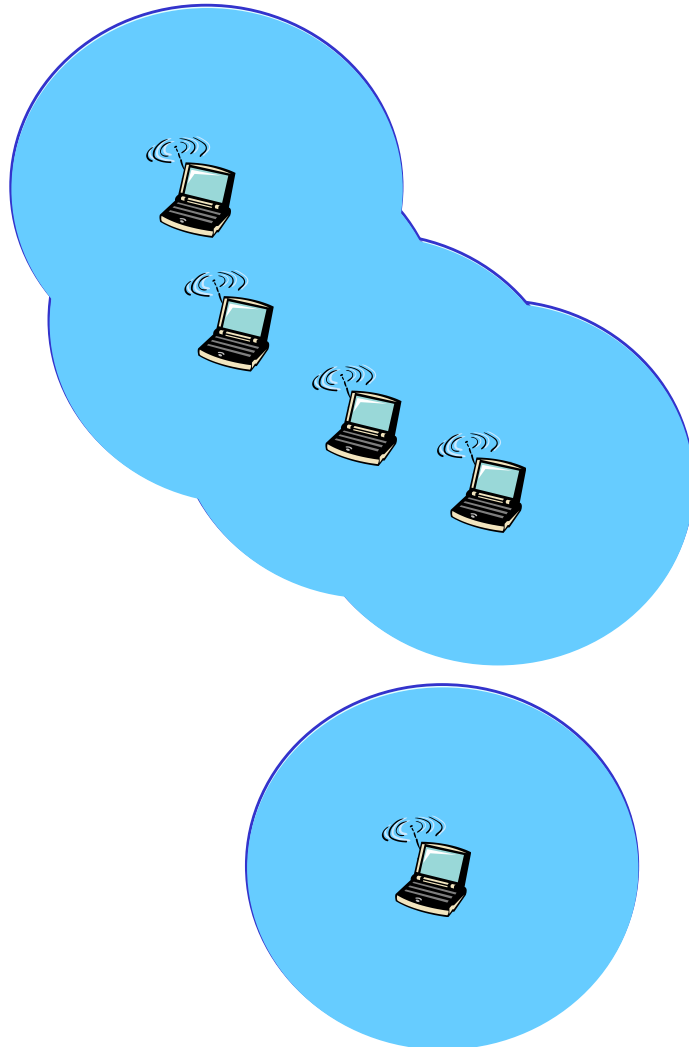


infrastrukturni mod

- Bazna stanica povezuje bežične terminale na mrežnu okosnicu
- Handoff (handover): mobilni terminal koji napušta zonu pokrivanja bazne stanice mora promijeniti baznu stanicu na koju je povezan bez prekida konekcije

Bežične i mobilne mreže

Elementi bežične mreže



ad hoc mod

- Nema baznih stanica
- Čvorišta mogu prenositi frejmove samo do drugih čvorišta koji su u zoni pokrivanja
- Čvorišta se samoorganizuju u mrežu

Bežične i mobilne mreže

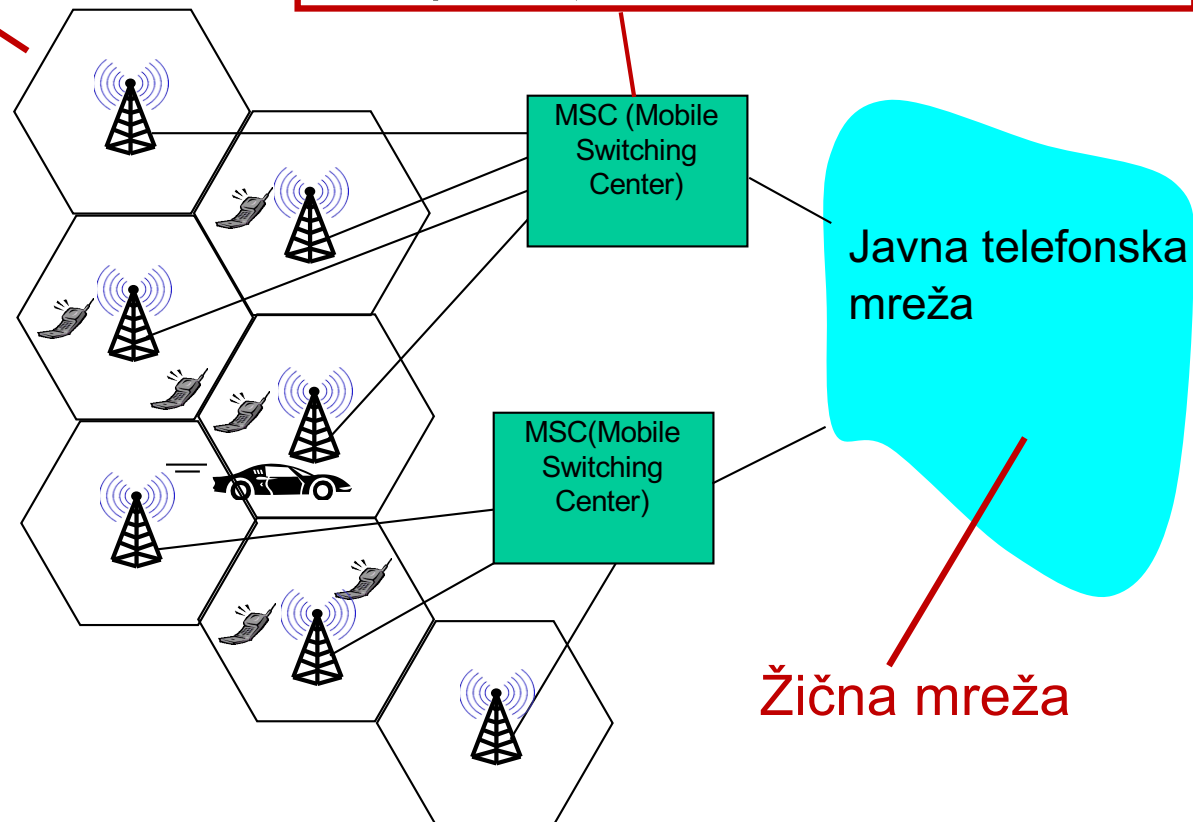
Komponente celularne mrežne arhitekture

Ćelija(cell)

- Pokriva određeno geografsko područje
- *bazna stanica* (BS)
- *Mobilni korisnici* koji se na mrežu povezuju preko BS
- *air-interface*: protokol fizičkog nivoa i nivoa linka između mobilnog terminala i B

MSC

- ❖ povezuje ćelije na žičnu mrežu
- ❖ upravlja pozivom
- ❖ opslužuje mobilni terminal



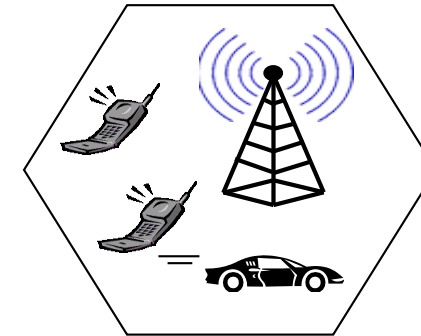
Bežične i mobilne mreže

Komponente celularne mrežne arhitekture

Dvije MAC tehnike za dijeljenje kanala između mobilnog i BS dominiraju

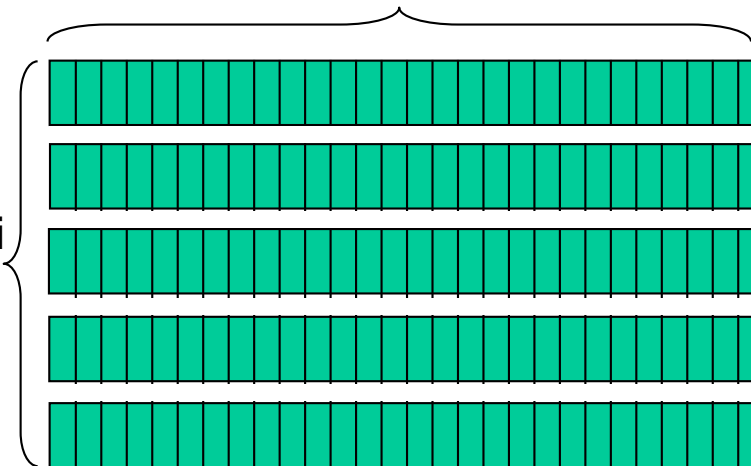
- ❑ **kombinovani FDMA/TDMA:** spektar podijeljen na kanale, a svaki frekvencijski kanal podijeljen na vremenske slotove

- ❑ **CDMA**



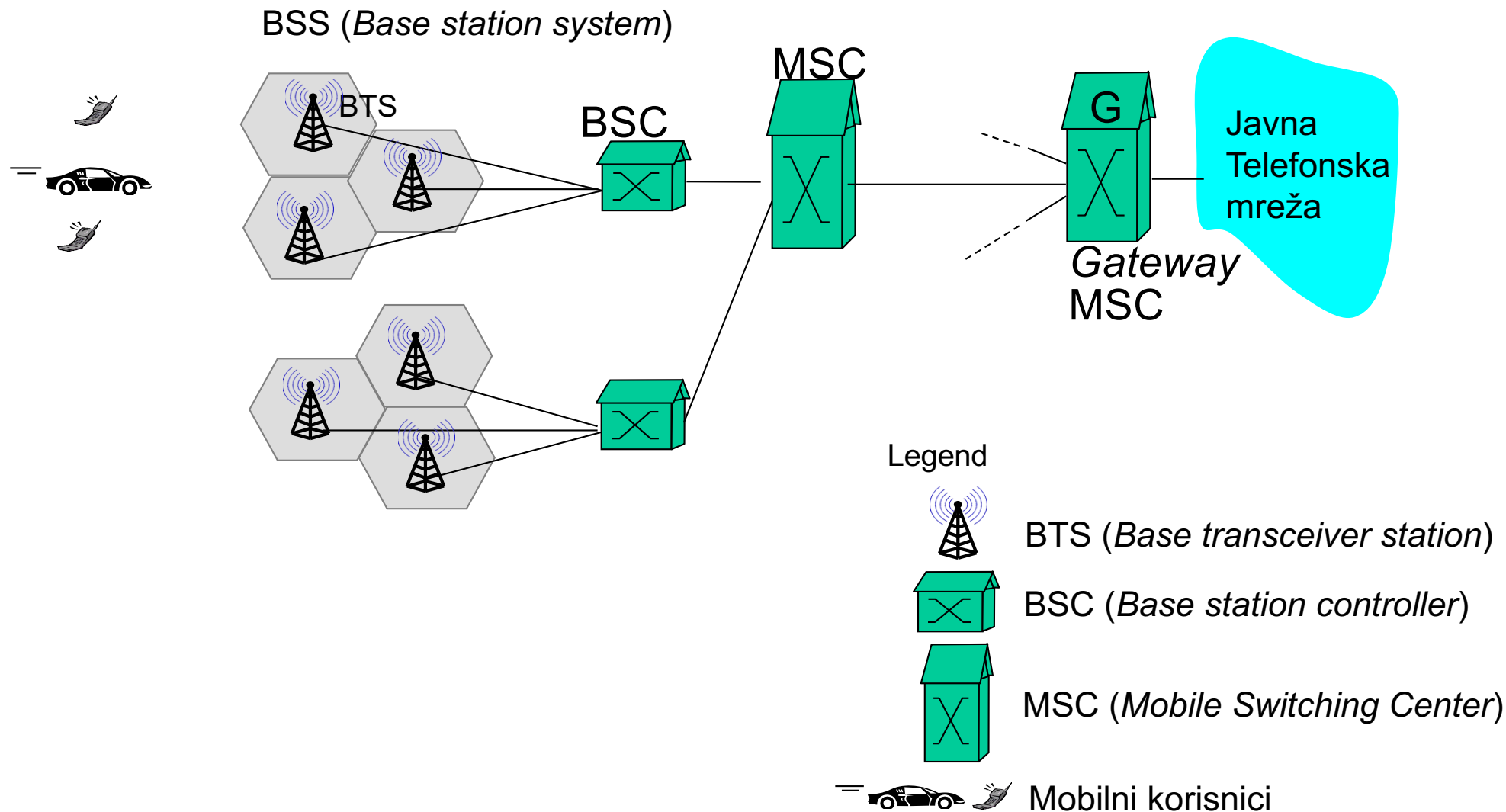
Vremenski kanali

Frekvencijski kanali



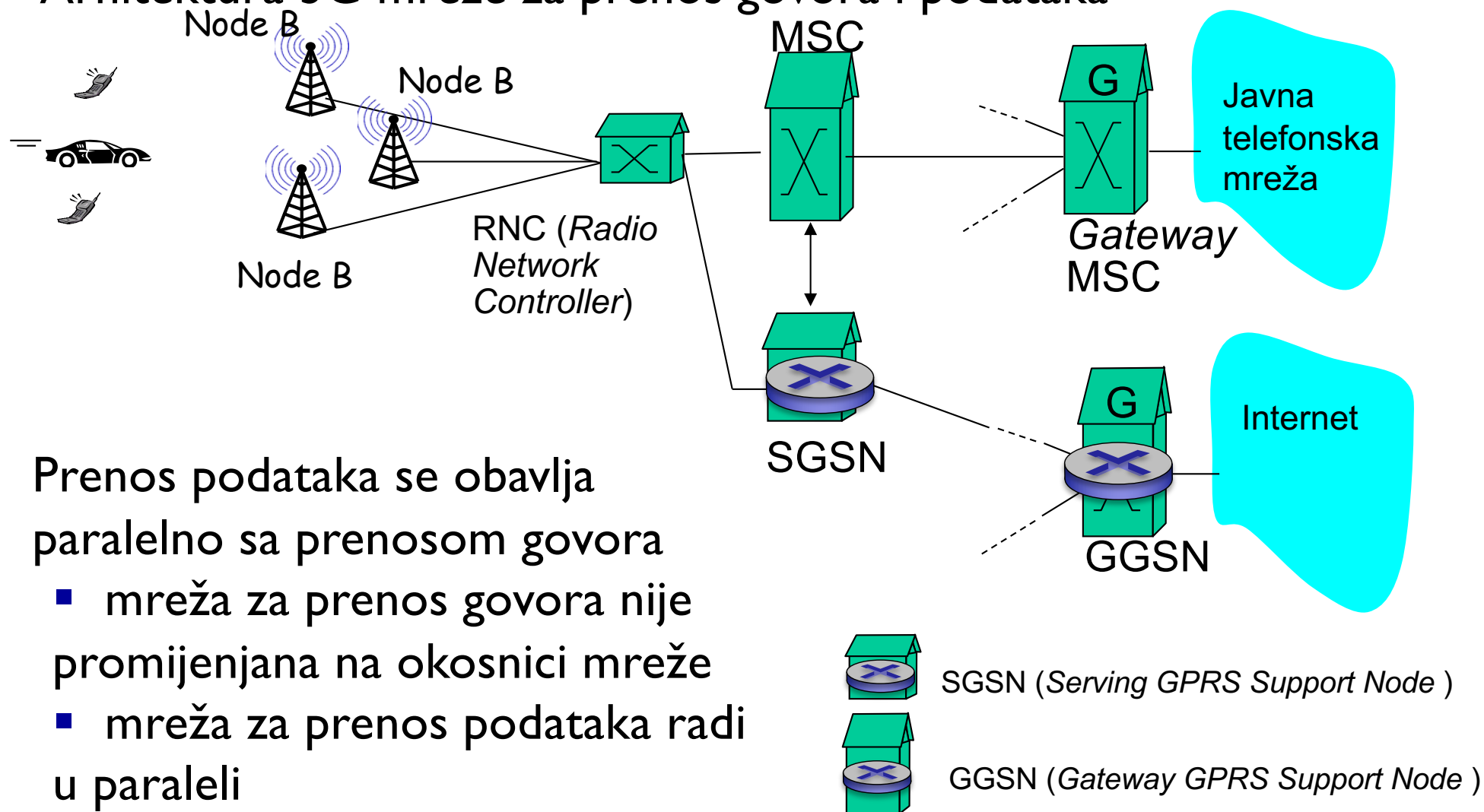
Bežične i mobilne mreže

Arhitektura 2G mreže za prenos govora



Bežične i mobilne mreže

Arhitektura 3G mreže za prenos govora i podataka

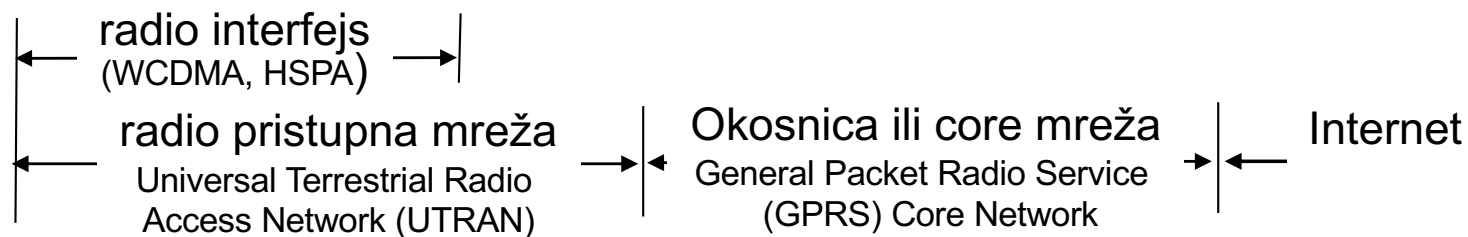
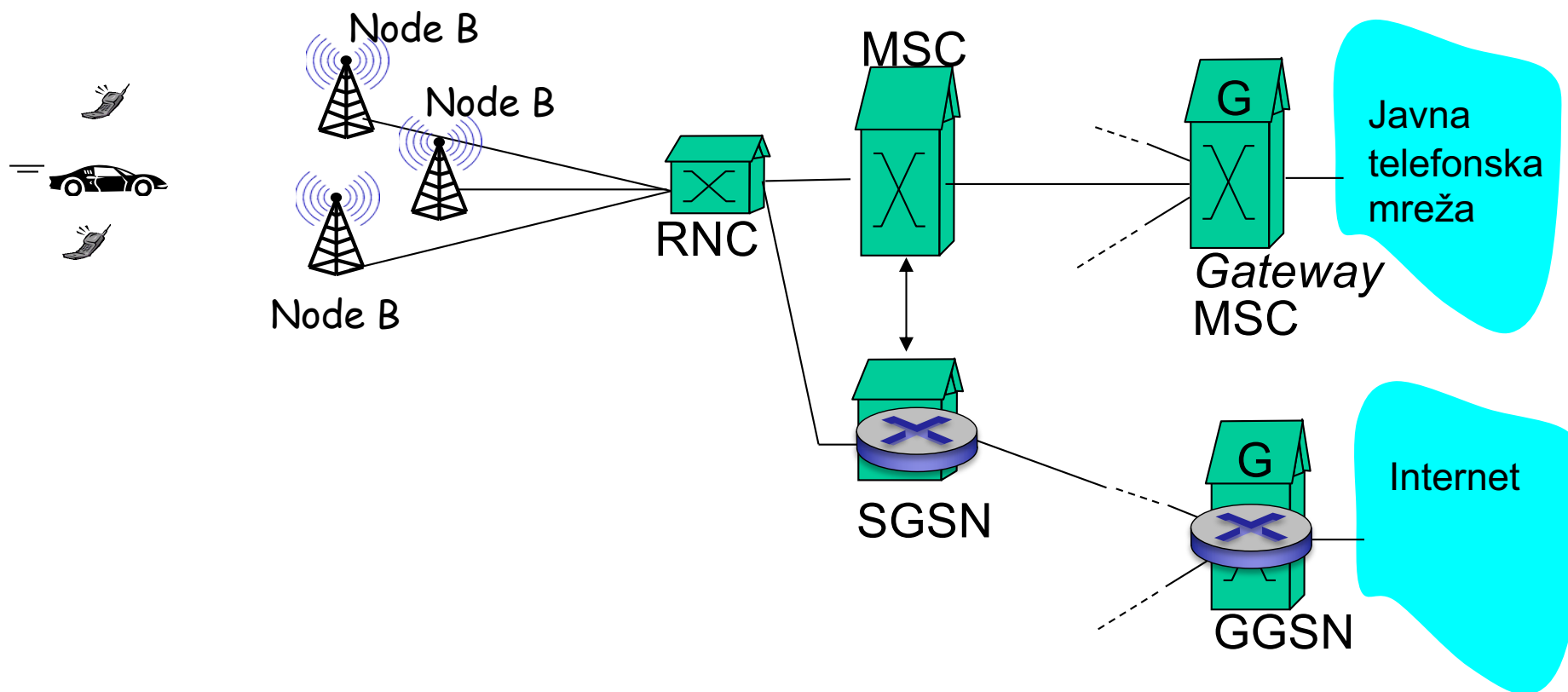


Prenos podataka se obavlja paralelno sa prenosom govora

- mreža za prenos govora nije promijenjana na okosnici mreže
- mreža za prenos podataka radi u paraleli

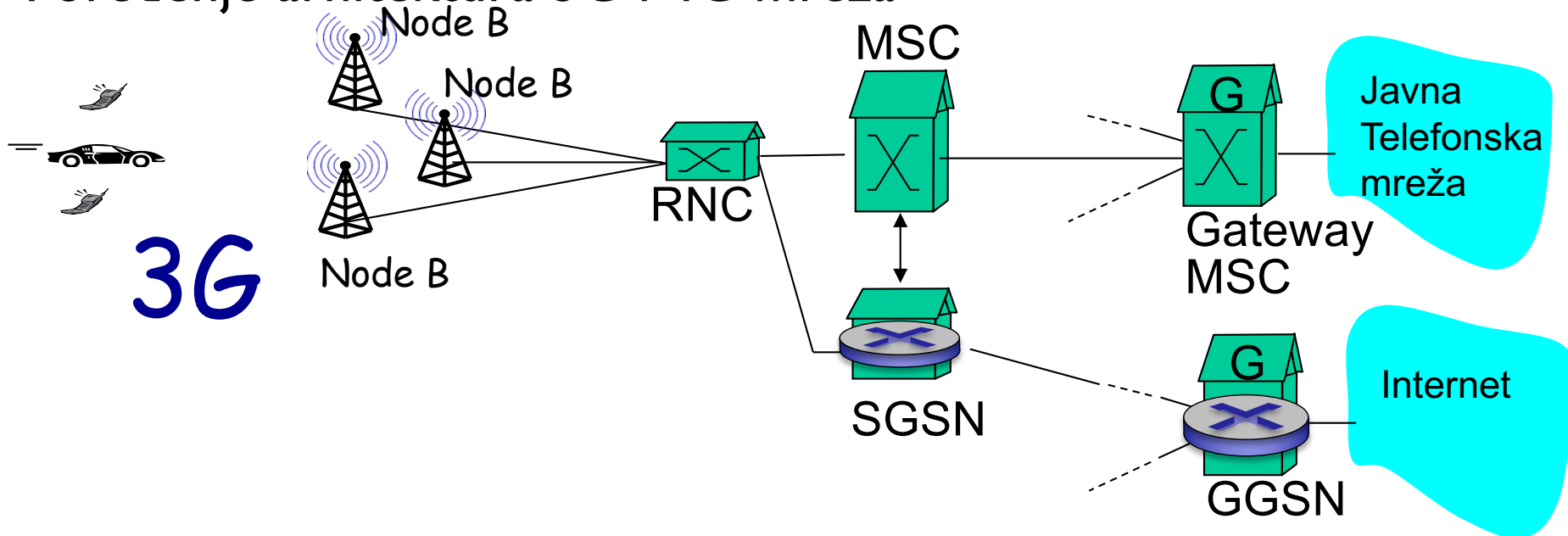
Bežične i mobilne mreže

Arhitektura 3G mreže za prenos govora i podataka

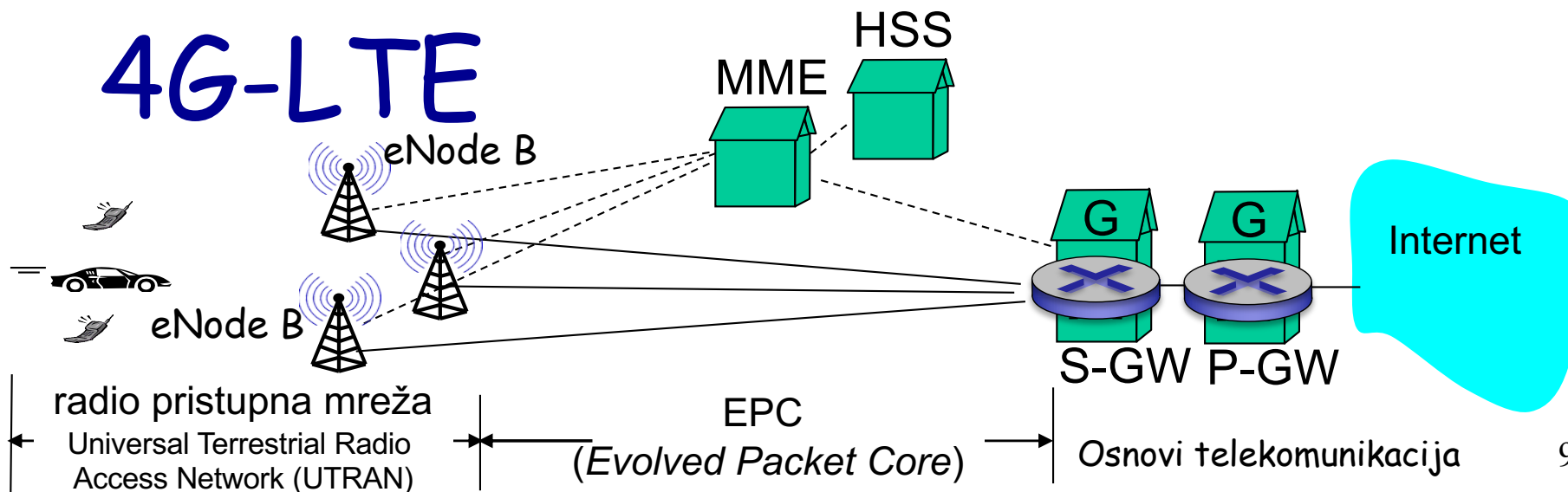


Bežične i mobilne mreže

Poređenje arhitektura 3G i 4G mreža



4G-LTE



Bežične i mobilne mreže

Poređenje arhitektura 3G i 4G mreža

- "all IP" jezgro mreže
- nema razdvajanja govora i podataka - kompletan saobraćaj se prenosi korišćenjem IP protokola preko jezgra do gateway

