

Telekomunikacione mreže

Prof.dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

Doc. dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

O čemu se radi?

- ❑ Telekomunikaciona mreža se posmatra kao sistem koji omogućava prenos informacija na daljinu.
- ❑ **Telekomunikacione mreže** se bave sistemom kao cjelinom
- ❑ Radi se o oblasti bez koje se ne može zamisliti budući angažman inženjera elektrotehnike, posebno u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija.
- ❑ Potrebno je elementarno znanje iz telekomunikacija i matematičke teorije vjerovatnoće.
- ❑ Sve informacije o ispitu će biti dostupne u formi prezentacija na zvaničnoj Web stranici predmeta
- ❑ Materija ima nastavak u ostalim kursevima studijskog programa ETR, smjer Telekomunikacije

Preporučena literatura

- ❑ Frank H.P. Fitzek, Fabrizio Granelli, Patrick Seeling, Computing in Communication Networks - From Theory to Practice, Elsevier, Academic Press
- ❑ Jean Walrand and Shyam Parekh, Communication Networks: A Concise Introduction, Morgan & Claypool, 2nd edition, 2018
- ❑ William Stallings, Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Addison-Wesley Professional, 2016
- ❑ Nader F. Mir, Computer and Communication Network, Second edition, Prentice Hall, 2015
- ❑ A. Kumar, D. Manjunath, J. Kuri, Computer Networking - An analytical approach, Elsevier, 2004
- ❑ F.Gebali, „Analysis of Computer and Communication Networks“, Springer, 2008
- ❑ Dodatne informacije je moguće pronaći u velikom broju knjiga, članaka i naravno na Internetu

O čemu se radi?

❑ Način polaganja:

Rad

Kolokvijum

Završni ispit

broj

% ocjene

50%

50%

Raspored poena:

Teorija

70%

Zadaci

30%

Pregled kursa: (ECTS katalog)

Pripremne nedjelje	Priprema i upis semestra
I nedjelja	Uvod u telekomunikacione mreže
II nedjelja	Internet
III nedjelja	Principi telekomunikacionih mreža
IV nedjelja	Ethernet, Wi-Fi
V nedjelja	Internet protokoli
VI nedjelja	Transportni protokoli
VII nedjelja	Kolokvijum
VIII nedjelja	Modelovanje u telekomunikacionim mrežama
IX nedjelja	QoS
X nedjelja	Fizički nivo u telekomunikacionim mrežama
XI nedjelja	Komutacioni sistemi. Overlay mreže. P2P
XII nedjelja	Senzorske mreže. IoT.
XIII nedjelja	4G, SDN. NFV.5G
XIV nedjelja	Osnove mašinskog učenja
XV nedjelja	<i>Network coding, compressed sensing</i>
XVI nedjelja	Prezentacija seminarskog rada
Završna nedjelja	<i>Završni ispit</i>
XVIII-XXI nedj.	Ovjera semestra i upis ocjena.
	Dopunska nastava i popravni ispitni rok

Pregled kursa :

Seminarski

- ❑ Samostalan rad
- ❑ Dodjela će biti u trećoj nedjelji rada
- ❑ Tema vezana za telekomunikacione mreže u širem smislu
- ❑ Polazni materijal na engleskom jeziku
- ❑ Javna odbrana seminarskog
 - Struktura ocjene
 - Pismeni dio seminarskog rada
 - Prezentacija
 - Diskusija sa kolegama
 - Odgovori na postavljena pitanja

Pitanja, komentari, ... ???

Uvod u telekomunikacione mreže

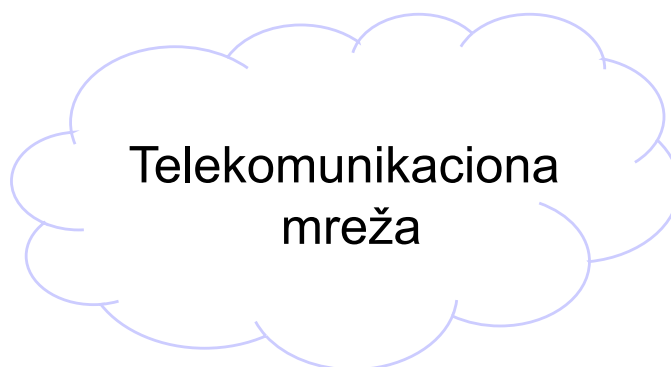
Sadržaj

- ❑ Koncepti telekomunikacionih mreža
- ❑ Istorijat modernih telekomunikacionih mreža
- ❑ Telekomunikacioni servisi
- ❑ Standardizacija
- ❑ Regulativa
- ❑ Primjeri tradicionalnih telekomunikacionih mreža

Koncepti telekomunikacionih mreža

Telekomunikaciona mreža:

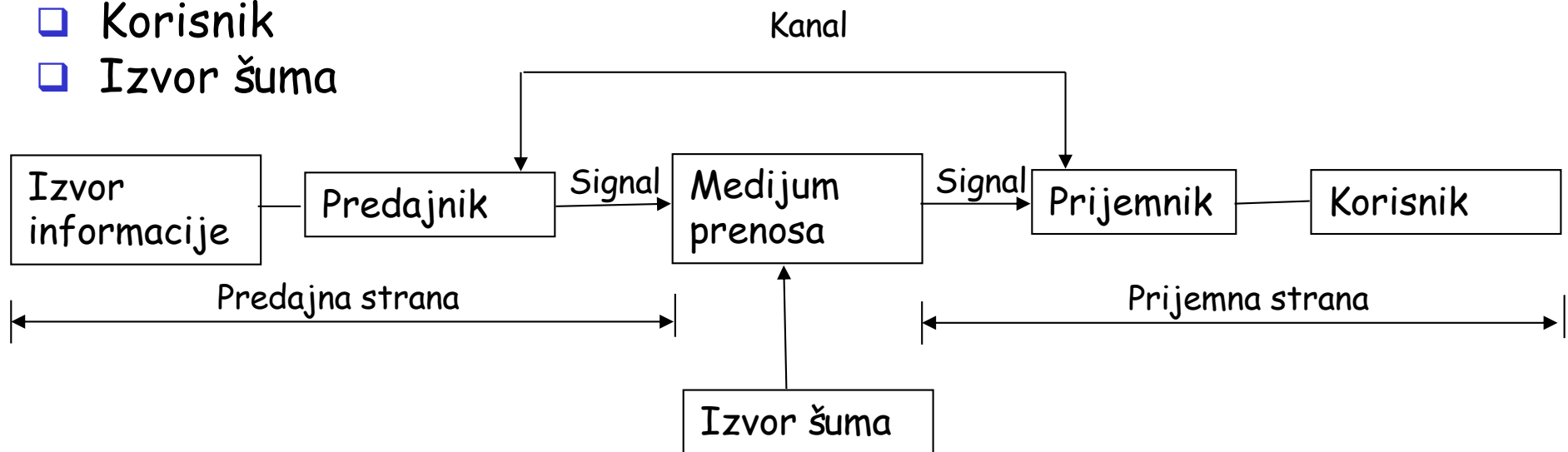
- ❑ Sistem koji omogućava prenos informacija na daljinu između izvora i destinacije (telekomunikacioni servis).
 - Ljudi, uređaji,...
 - Govor, slika, video, podaci,...
 - Električna struja, svjetlosni zrak, elektromagnetni talas,...
- ❑ Veliki broj funkcija koje rezultiraju vrlo složenom strukturom mreže
- ❑ Nekada su bile posvećene jednom servisu, dok danas integrišu više telekomunikacionih servisa



Koncepti telekomunikacionih mreža

Šenonov model komunikacije:

- ☐ Izvor informacije
- ☐ Predajnik
- ☐ Prijemnik
- ☐ Medijum prenosa
- ☐ Korisnik
- ☐ Izvor šuma

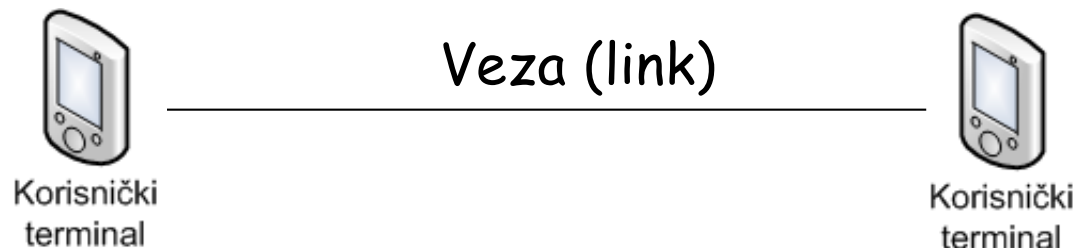


Koncepti telekomunikacionih mreža

Osnovni model komunikacije:

- ❑ Dio predajnika i prijemnika iz prethodnog modela se objedinjuju u korisnički terminal.
- ❑ Predajnik, prijemnik, medijum za prenos čine vezu (link).

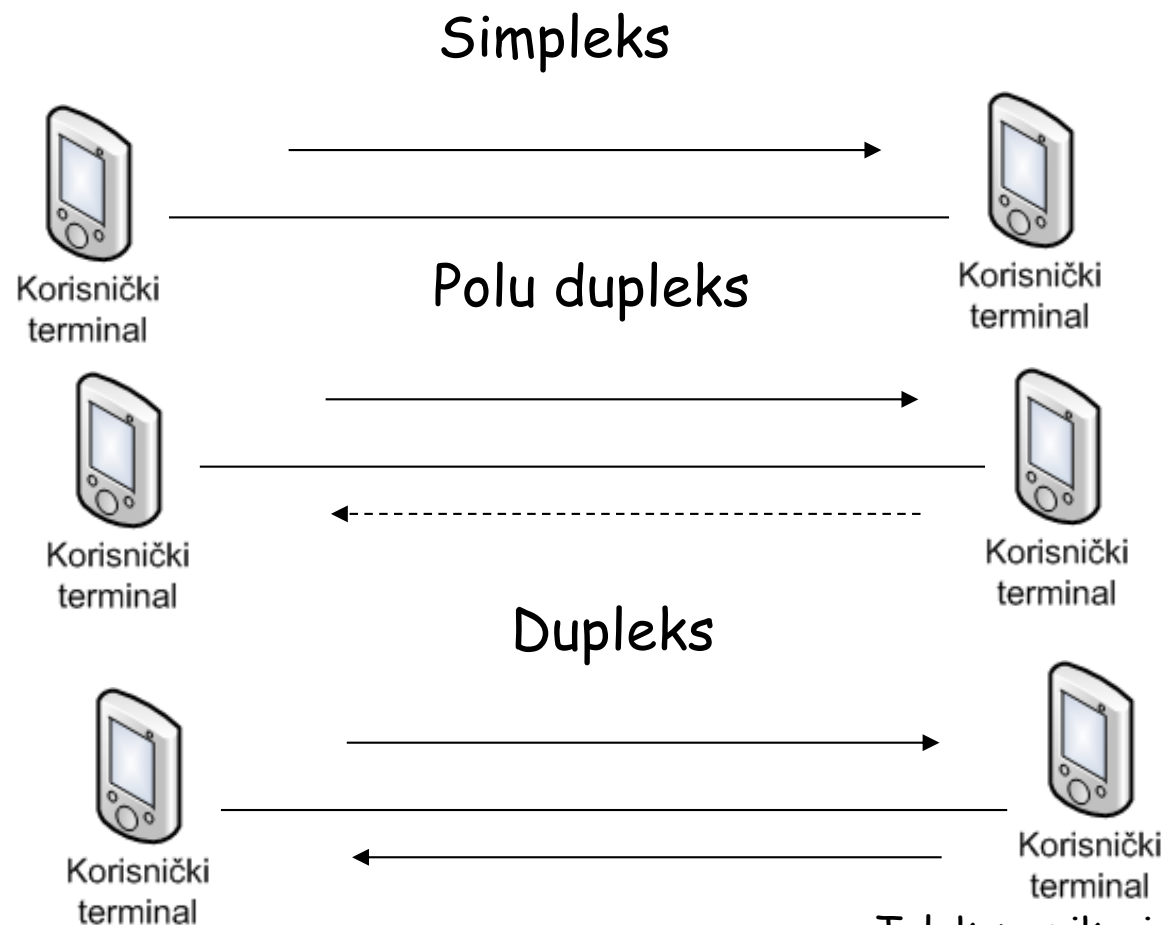
Povezivanje od tačke do tačke (point-to-point)



Koncepti telekomunikacionih mreža

Povezivanje od tačke do tačke obezbeđuje:

- ❑ Jednosmjernu komunikaciju (simpleks).
- ❑ Dvosmjernu komunikaciju (polu dupleks i dupleks).



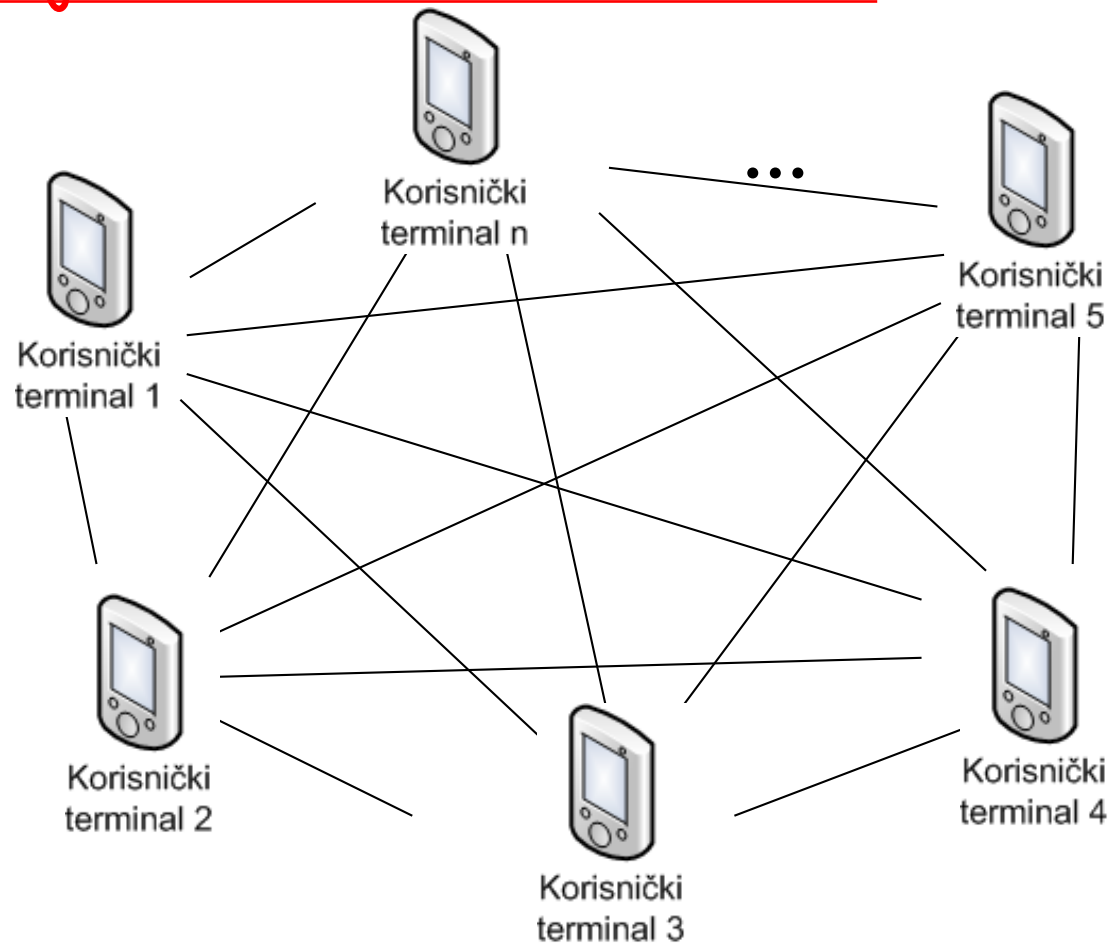
Koncepti telekomunikacionih mreža

Zahtjevi:

- ❑ Dostupnost (resursi moraju biti na raspolaganju korisniku kada mu zatreba odgovarajući telekomunikacioni servis)
- ❑ Transparentnost (mreža treba da bude takva da korisnik ne osjeti njeno funkcionisanje i da telekomunikacioni servis bude nivoa koji zadovoljava korisnikove potrebe)
- ❑ Ekonomičnost (telekomunikaciona mreža je složen sistem koji zahtijeva izgradnju, održavanje i razvoj)
- ❑ ...

Koncepti telekomunikacionih mreža

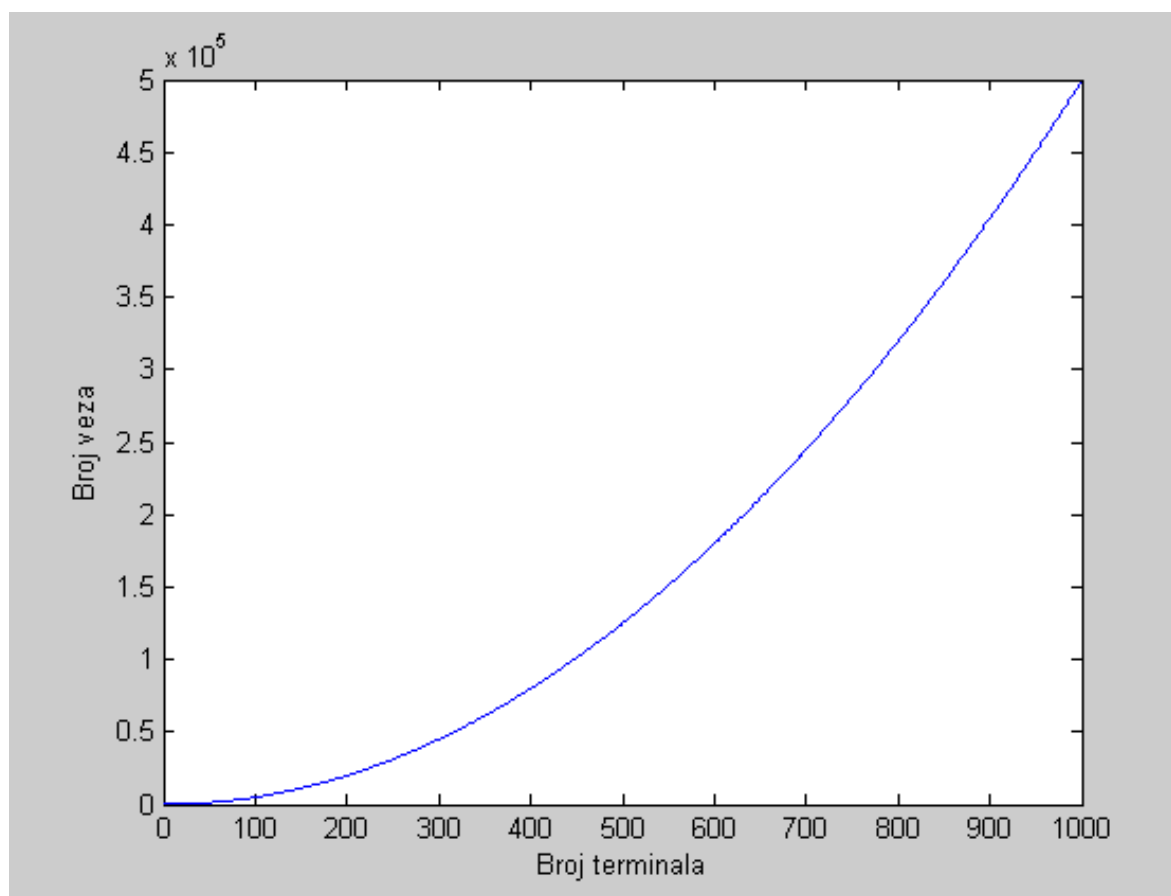
Povezivanje više korisnika: full mesh



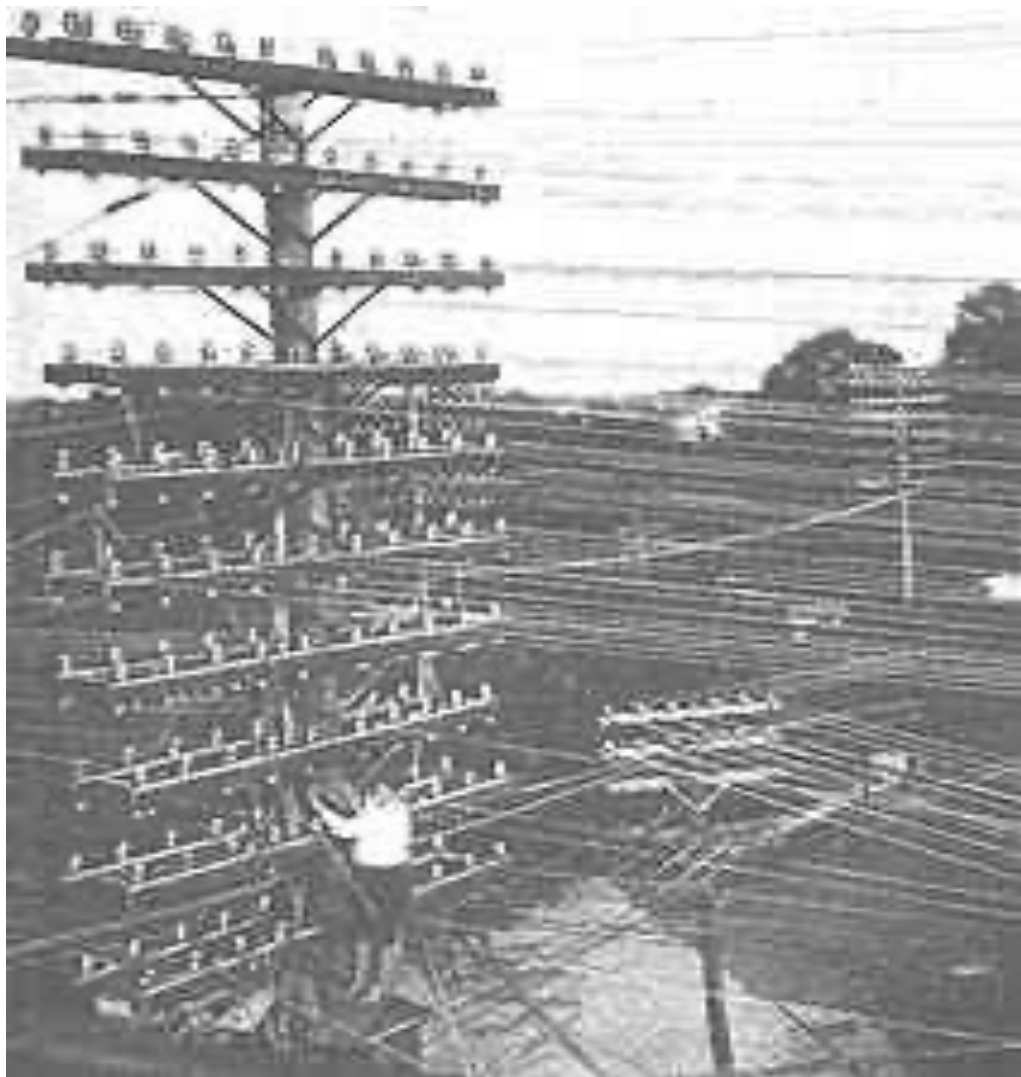
Ovako danas funkcionišu *broadcast* mreže!!

Koncepti telekomunikacionih mreža

Ukupan broj potrebnih veza u potpuno povezanoj mreži sa n čvorišta: $n(n-1)/2$

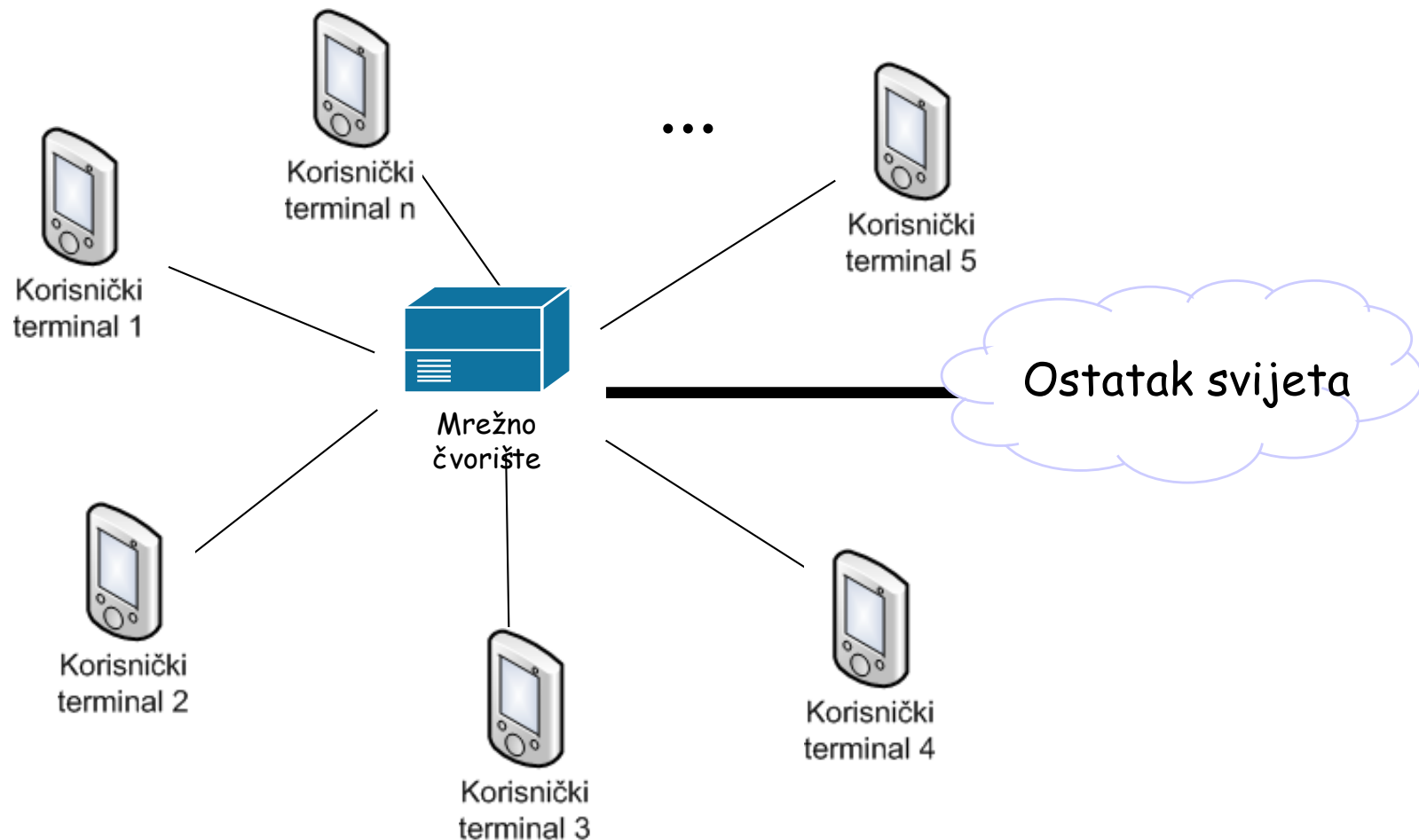


Koncepti telekomunikacionih mreža



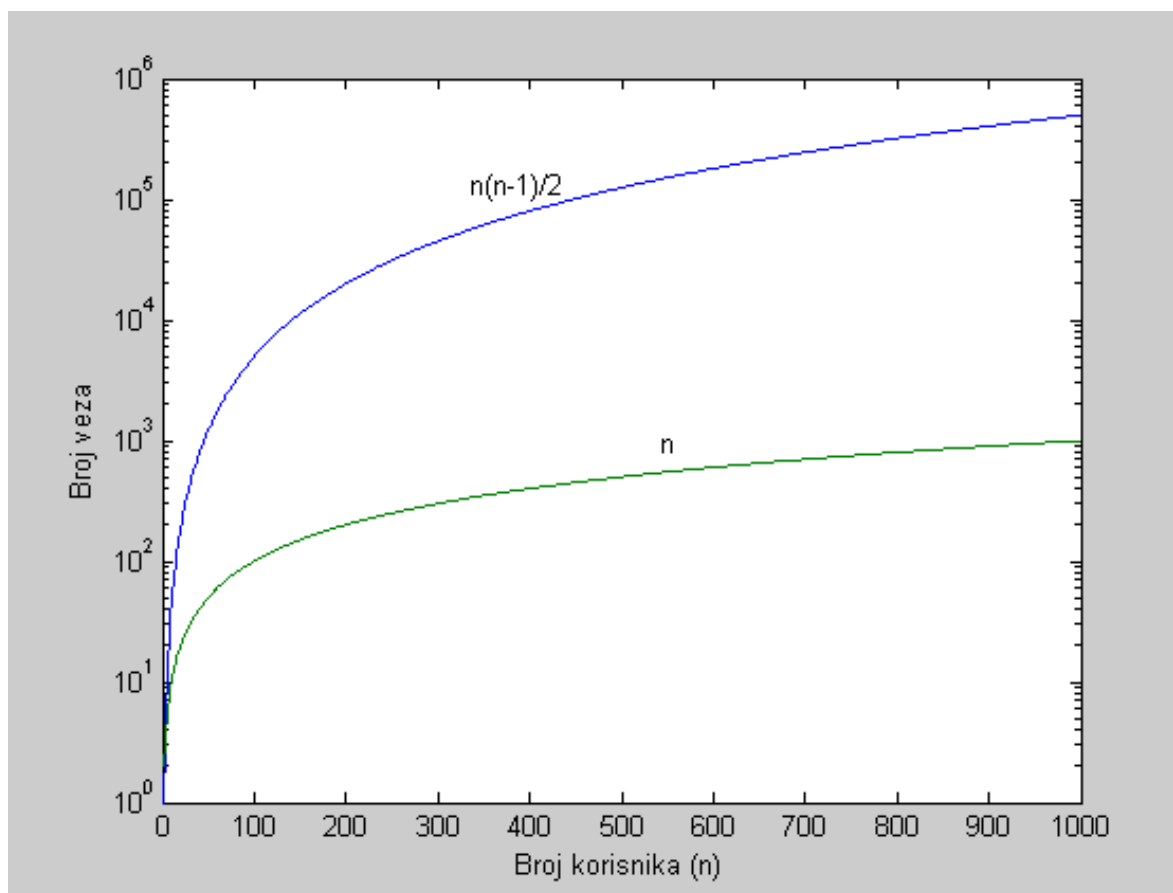
Koncepti telekomunikacionih mreža

Mrežno čvorište : (multiplexer, komutacioni sistem, ruter,...)



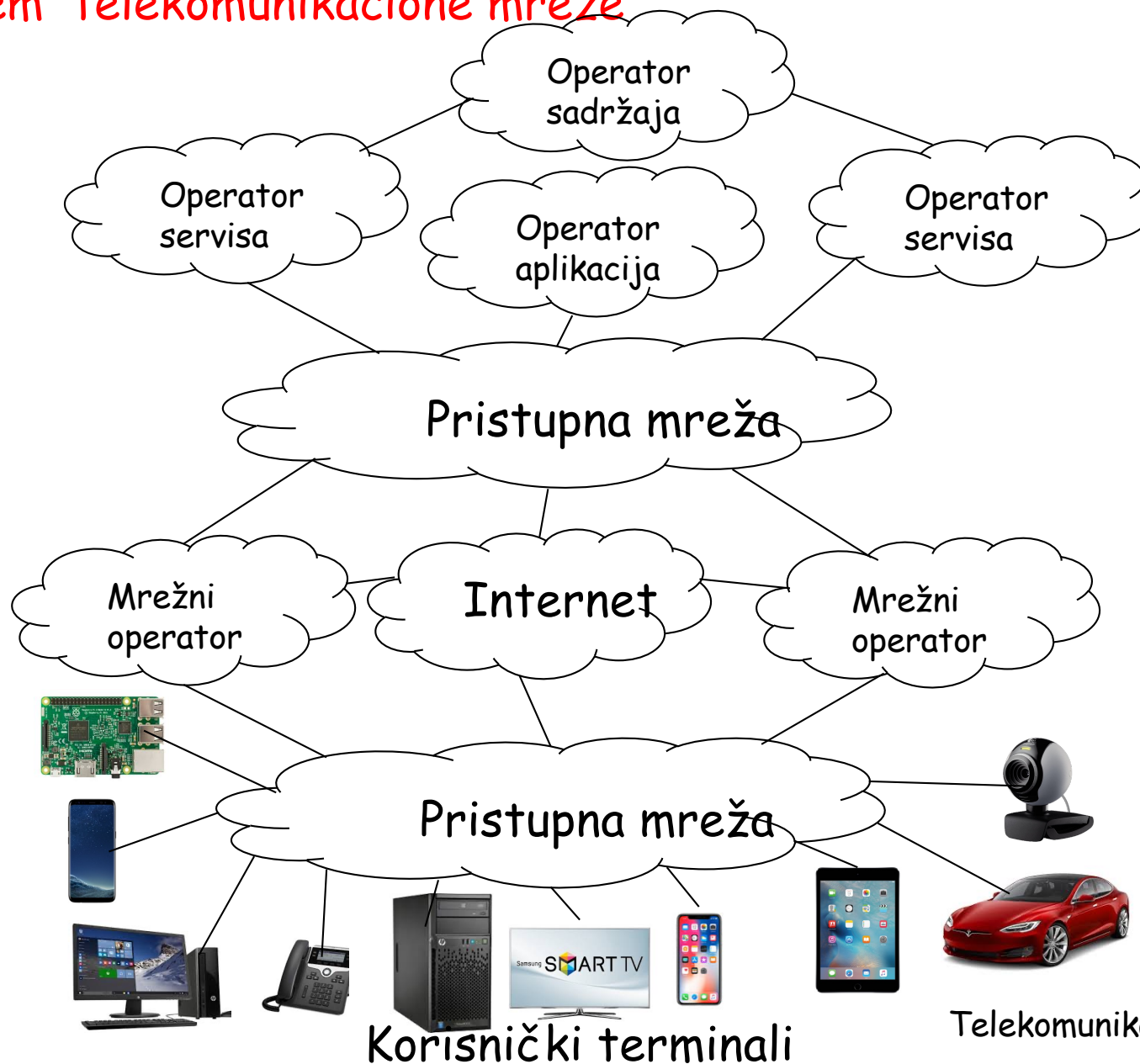
Koncepti telekomunikacionih mreža

Ukupan broj potrebnih veza u okviru mreže: n



Koncepti telekomunikacione mreže

Ekosistem telekomunikacione mreže



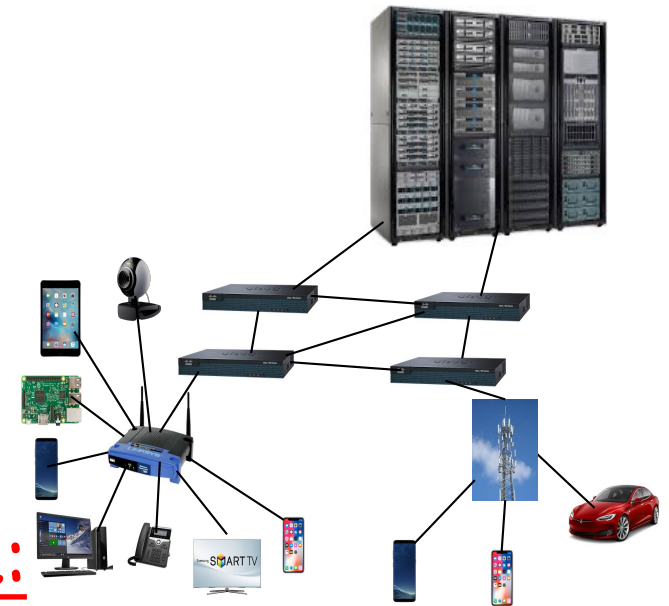
Koncepti telekomunikacione mreže

Struktura telekomunikacione mreže?

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



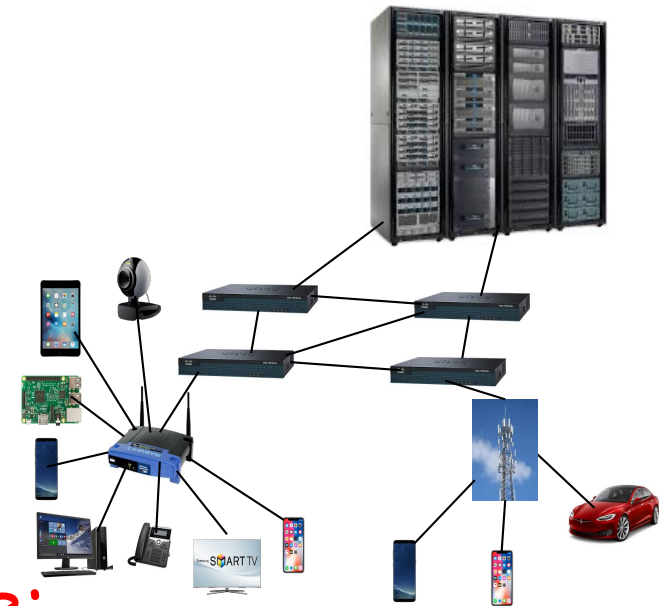
Koncepti telekomunikacione mreže



Elementi telekomunikacione mreže:

- ❑ Korisnički terminali (pristup korisnika telekomunikacionoj mreži)
- ❑ Telekomunikaciona pristupna mreža (povezivanje korisničkih terminala na mrežno čvorište)
- ❑ Mrežna čvorišta (prosleđivanje informacije sa ulaza na izlaza i povezivanje sa drugim mrežnim čvorištima)
- ❑ Prenosni sistemi (povezivanje mrežnih čvorišta)
- ❑ Server (servisi i sadržaji)
- ❑ Storage (memorijski prostor za čuvanje podataka)

Koncepti telekomunikacione mreže



Struktura telekomunikacione mreže:

- ❑ Ilica telekomunikacione mreže (korisnički terminali)
- ❑ Telekomunikaciona pristupna mreža (obezbjeđuju pristup terminala mrežnom čvorištu)
- ❑ Transportna telekomunikaciona mreža (međupovezana mrežna čvorišta)
- ❑ Mreža Data Centra (međupovezani serveri i storage)

Koncepti telekomunikacionih mreža

Podjela telekomunikacionih mreža prema principu realizacije načina prosleđivanja informacije:

1. Broadcast
2. Komutirane
 1. Komutacija kola
 2. Komutacija na principu uskladišti i proslijedi
 1. Komutacija poruka (telegrafija)
 2. Komutacija paketa
 3. Komutacija tokova

Istorijat modernih telekomunikacionih mreža

- ❑ 24. 5. 1844. Samuel Morse je nakon deset godina rada demonstrirao prenos telegrafskog signala upredenom bakarnom paricom od zgrade Kapitola u Vašingtonu do Baltimora.
 - Morzeov kod
 - Poslije deset godina telegrafija je bila javno dostupna.
 - Zbog različitih standarda javila se nekompatibilnost između različitih država.
- ❑ 1850. počinje postavljanje podmorskih kablova, tako da je već 1866. uspostavljena prva žična konekcija između Amerike i Evrope.
- ❑ 1864. Maksvel kroz svoje jednačine predviđa postojanje elektromagnetnih talasa.
- ❑ 1876. Alexander Graham Bell je demonstrirao i patentirao telefon kao sredstvo za prenos govora na daljinu.

Istorijat modernih telekomunikacionih mreža

- ❑ 1888. Heinrich Rudolf Herz dokazuje prisustvo elektromagnetskog zračenja.
- ❑ 1890. počinje realizacija telefonskih mreža baziranih na manuelnim telefonskim centralama. Ubrzo se javljaju automatske elektromehaničke centrale.
- ❑ 1895. Gugliermo Marconi uspješno obavlja eksperiment slanja radio talasa na rastojanje od 2km, na trasi bez optičke vidljivosti ("hill" eksperiment)
- ❑ 1900. Mihailo Pupin otkriva tehniku "pupinizacije" koja omogućava povećanje daljine prenosa telefonskog signala.

Istorijat modernih telekomunikacionih mreža

- ❑ Vladimir Kosma Zworykin i Philo Taylor Farnsworth se smatraju očevima televizije. 7.9.1927. je ostvaren uspješan prenos TV signala, dok je 1930 Farnsworthu dodijeljen patent.
- ❑ 1933. Edwin Armstrong patentirao FM radio signalizacioni sistem
- ❑ 1933. je rođena radio astronomija u radu čiji je autor Kurt Jansky
- ❑ 1945. Arthur Clarke predlaže koncept korišćenja GEO satelita za difuziju TV signala.
- ❑ 1948. Claude Shannon publikuje dva rada iz oblasti kompresije podataka (source coding) i detekcije/korekcije greške (channel encoding)
- ❑ 1955. John R. Pierce opisuje moguće rješenje satelitske TV.
- ❑ 1958. su Charles Townes i Arthur Schawlow opisali kako bi trebala da izgleda proizvodnja lasera
- ❑ 1958. je osnovana ARPA (The Advanced Research Project Agency) od strane Ministarstva odbane SAD
- ❑ 1958. je ostvarena modemska konekcija u mreži AT&T brzine 300b/s uz korišćenje FSK modulacije.
- ❑ 1962.-1964. prvi eksperimenti sa satelitskom telefonijom i televizijom

Istorijat modernih telekomunikacionih mreža

- ❑ 1960. je otkriven laser
- ❑ 1967. Bell Laboratories počinju da razvijaju komutacioni sistem za potrebe celularne telekomunikacione mreže
- ❑ 1968. počinje ARPANET projekat
- ❑ 1968. FCC dodjeljuje dio spektra mobilnim telefonskim sistemima u opsegu 900MHz koji je bio namijenjen televiziji
- ❑ 1970. je otkriveno multimodno vlakno sa slabljenjem manjim od 20dB/km
- ❑ 1971. AT&T predstavlja koncept AMPS (Advanced Mobile Phone System)
- ❑ 1972. je otkriveno multimodno vlakno sa silicijumskim jezgrom minimalnog slabljenja od 4dB/km
 - Danas 1300nm (0.5dB/m), 1500nm (0.25dB/m)
- ❑ 1973. Robert Metcalfe predlaže Ethernet
- ❑ 01.01. 1983. sva čvorišta ARPANET-a prelaze na TCP/IP pri čemu se vojna mrežna čvorišta odvajaju i postaju Milnet, a ostala zadržavaju akademski i istraživački status i formiraju Internet.

Istorijat modernih telekomunikacionih mreža

- ❑ 1990. Tim Berners Lie zaokružuje sve komponente potrebne za web servis (HTTP, HTML, browser, server i web strana)...
- ❑ 1994. se pojavljuje Amazon
- ❑ 1996. Larry Page i Sergey Brin počinju razvoj Google
- ❑ 2001. Shawn Fanning, John Fanning i Sean Parker započinju projekat Napster online servisa
- ❑ 2001. Apple počinje sa prodajom iPod
- ❑ 2003. Niklas Zennström i Janus Friis lansiraju Skype
- ❑ 2004. počinje sa radom društvena mreža Facebook
- ❑ 2004. nastaje BitTorrent
- ❑ 2007. Apple počinje sa prodajom iPhone
- ❑ 2008. se na tržištu javlja prvi Android smart telefon
- ❑ 2008. se javlja prva platforma otvorenog koda za realizaciju privatnog clouda (Eucalyptus) baziranog na AWS-u (Amazon Web servis)
- ❑ 2010. se u SAD pojavljuju prvi 4G telefoni i aplikacije
- ❑ 2011. se pojavljuje prva verzija OpenFlow protokola (1.1)
- ❑ ...
- ❑ 2020 se očekuju prve komercijalne implementacije 5G

Telekomunikacioni servisi

- ❑ Predstavljaju razmjenu informacija između korisnika, koji se nalaze na različitim lokacijama, bila kada i bilo gdje (sveprisutni su!!!!).
- ❑ Telekomunikacioni servisi imaju snažan uticaj na razvoj jednog društva.
- ❑ Primjeri servisa?
- ❑ Primjeri uticaja na razvoj društva?

Telekomunikacioni servisi

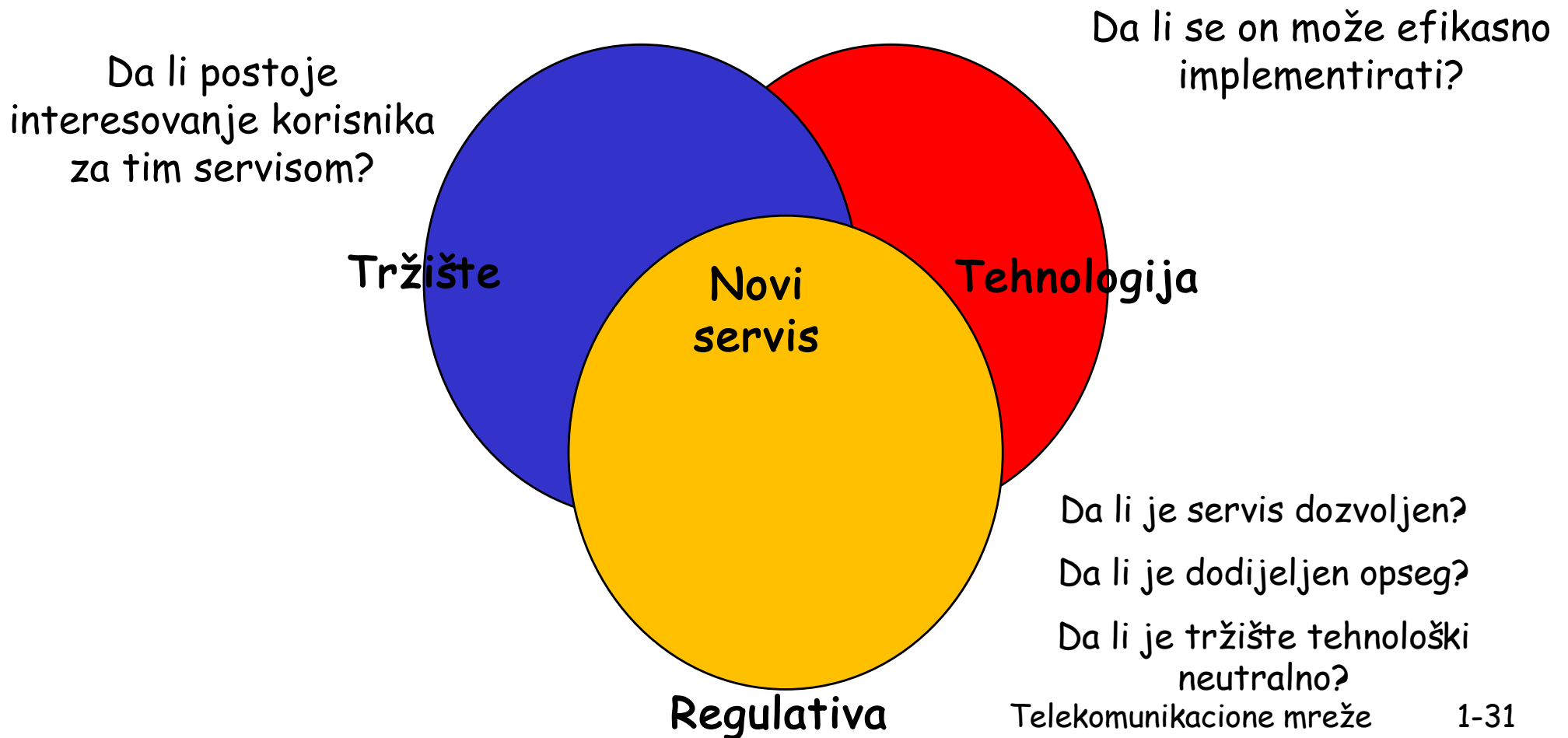
PRIMJERI

- ❑ Fiksna telefonija (bidirekciona razmjena govornih poruka u realnom vremenu)
- ❑ Celularna telefonija (razmjena govornih poruka između mobilnih korisnika u realnom vremenu)
- ❑ SMS, MMS
- ❑ E-mail (razmjena tekstualnih poruka posredstvom servera)
- ❑ Web browsing (dobijanje informacija smještenih na web serveru)
- ❑ Instant Messaging (trenutna razmjena poruka posredstvom interneta: Windows Live Messenger, ICQ...)
- ❑ Voice over IP i Video over IP
- ❑ Aplikacije za govornu i pisanu komunikaciju (Skype, Gtalk...)
- ❑ Peer-to-peer aplikacije razmjene fajlova (Torrent razmjena fajlova, LimeWire, Napster...)
- ❑ Audio&video streaming (Dailymotion, Metacafe, YouTube...)
- ❑ Mrežne igre (World of Warcraft, Counter Strike...)
- ❑ Online forumi ili message board-ovi (Ubuntu forum, 4chan, CDM...)
- ❑ Društvene online mreže (Myspace, Facebook, Twitter...)
- ❑ Video telekomunikacioni servisi (videophones, videoconferencing, video relay services,...)
- ❑ Aplikacije i servisi za saradnju i grupe za diskusiju (MicrosoftGroove, Elance...)
- ❑ On-line kupovina (MyeGlobal, Everbuying, AliExpress, DX...)
- ❑ M-paying
- ❑ Udaljeno logovanje (TeamViewer)
- ❑ Navigacija

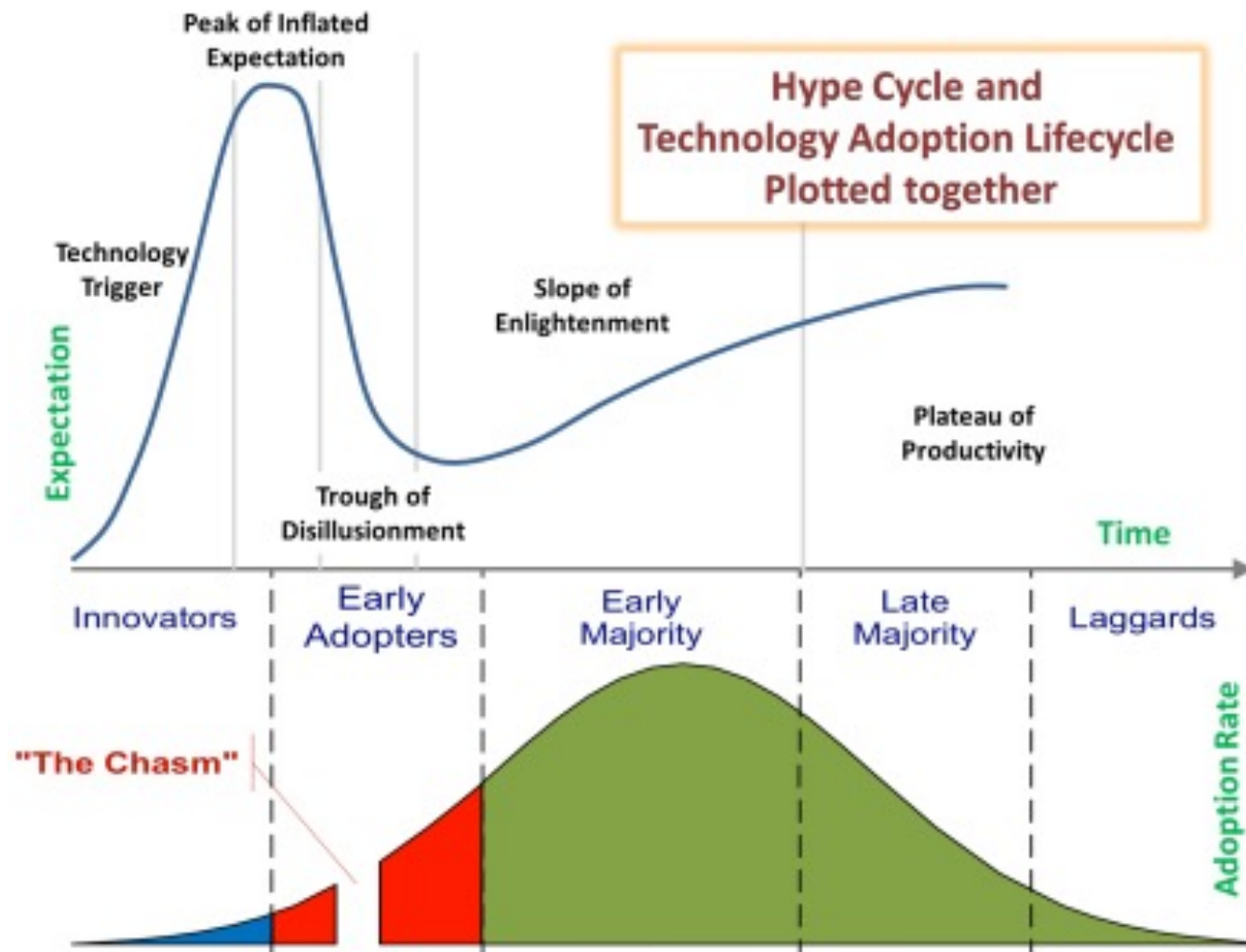
Telekomunikacioni servisi

FAKTORI USPJEHA

- ❑ Tehnologija nije jedini faktor uspjeha novog servisa
- ❑ Tri su ključna faktora koja se razmatraju prilikom uvođenja novih telekomunikacionih servisa



Telekomunikacioni servisi



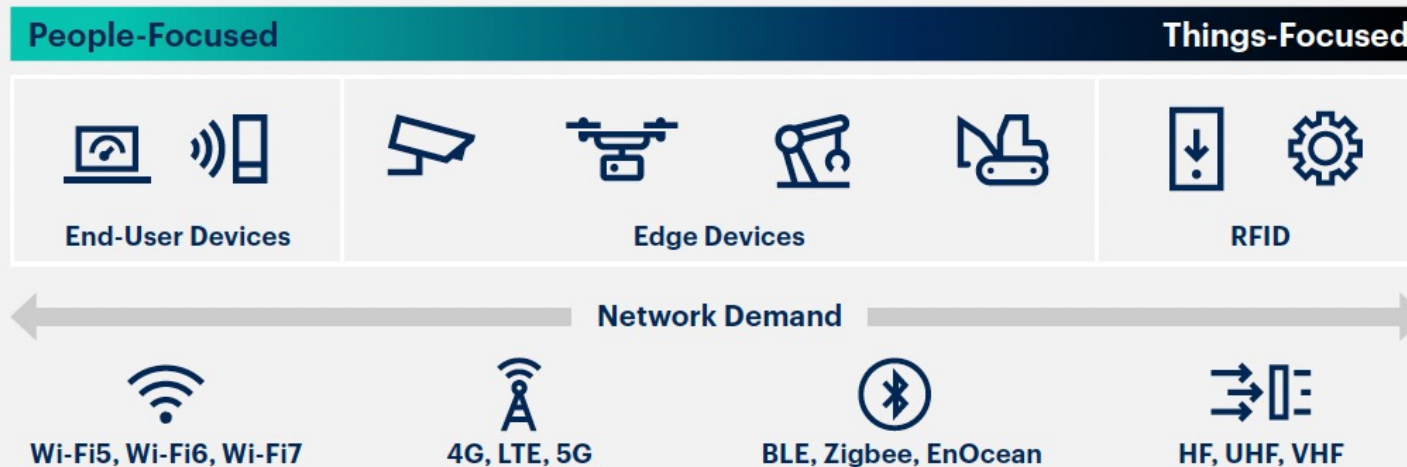
Telekomunikacioni servisi



"Wireless is moving from a communications technology to become a broader digital innovation platform."

Wireless-Value Realization: Scale Everywhere

Different devices utilizing different technology create value beyond communication.



Source: Gartner

Standardizacija

- ❑ Nove tehnologije potrebne za razvoj novih ili unapređenje postojećih proizvoda, usluga i servisa su skupe, a njihov razvoj pun rizika
- ❑ Standardi dozvoljavaju učesnicima u tržišnoj utakmici da podijele rizik i steknu prednosti novog tržišta
 - Smanjuju troškove ulaska
 - Interoperativnost i mrežni efekat
 - Konkurencija u inovativnosti
 - Zatvaranje prstena
 - Čipovi, sistemi, proizvođači opreme, davaoci servisa, administracije, udruženja za zaštitu korisnika
- ❑ Uspješni primjeri
 - IEEE 802.3 Ethernet
 - IEEE 802.11 WLAN (WiFi)
 - 4G

Standardizacija

NAJISTAKNUTIJA TIJELA ZA STANDARDIZACIJU

❑ Internet Engineering Task Force

- Razvoj Internet standarda
- Request for Comments (RFCs)
- www.ietf.org

❑ International Telecommunications Union

- Međunarodni telekomunikacioni standardi

❑ IEEE 802 Committee

- LAN i MAN standardi

❑ Industrijske organizacije

- MPLS Forum, WiFi Alliance, World Wide Web Consortium, ATM forum

❑ Državne

- ANSI (American National Standards Institute)
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

Standardizacija

Strane koje učestvuju u standardizaciji

- ☐ Državni organi
- ☐ Regulatori tržišta
- ☐ Korisnici
- ☐ Proizvođači opreme
- ☐ Operatori

Regulativa

- ❑ ITU
 - ITU-T
 - ITU-R
 - ITU-D
- ❑ Evropska Komisija i Evropski Parlament
- ❑ Zakon o elektronskim komunikacijama (Sl. list Crne Gore 40/2013 od 13.08.2013. god.)
 - Ministarstvo ekonomije
 - Ministarstvo javne uprave
 - Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost (www.ekip.me) je nezavisni regulator tržišta

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Prenos teksta na velika rastojanja:

- Kurir: fizički prenos poruke
 - Golub pismoša, "pony express", DHL, FedEx
- Telegraf: poruka se prenosi mrežom korišćenjem signala
 - Bubnjevi, ogledala, dim, zastave...
 - Electricitet, svjetlost

Telegraf prenosi poruke mnogo brže

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Optički (Vizuelni) Telegraf

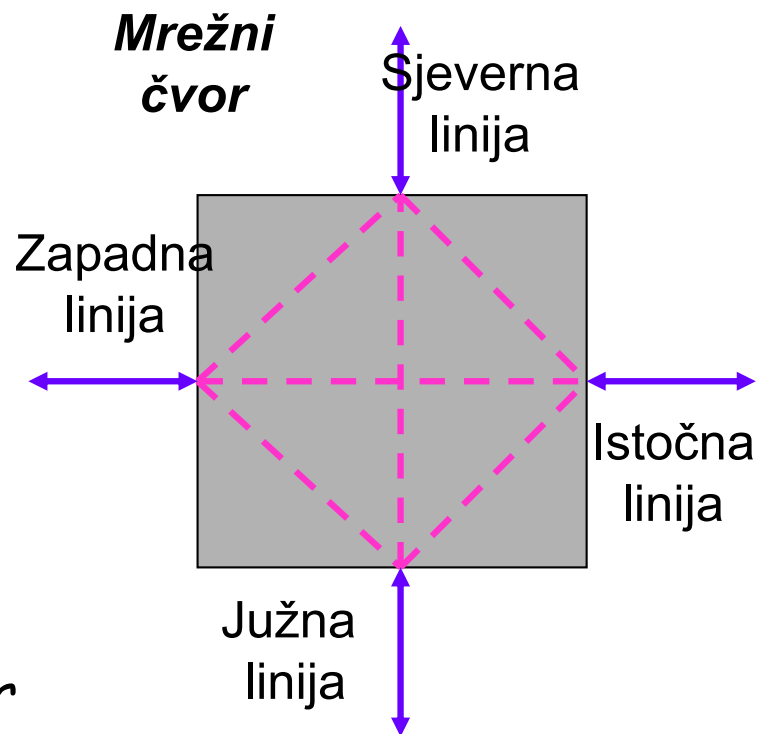
- ❑ Claude Chappe je otkrio optički telegraf 1790-tih
- ❑ Semaforška mimikrija od strane osobe sa raširenim rukama i zastavom u svakoj ruci
- ❑ Različite kombinacije uglova ruku su generisale stotine mogućih signala
- ❑ Poruke su se kodirale radi sigurnosti
- ❑ Signal se mogao prenositi 800 km za 3 minuta!



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Komutacija poruka

- ❑ Mrežni čvorovi su kreirani na mjestima gdje se više linija optičkih telegrafa presijeca (gradovi)
- ❑ *Operacija uskladišti i proslijedi (Store-and-Forward):*
 - Poruke koje dolaze sa linija se dekodiraju
 - Sledeći-hop u *rutu* određuje se na bazi *adrese destinacije* kojoj je poruka namijenjena
 - Svaka poruka se prenosi ručno do sledeće linije, i smješta dok operator ne bude dostupan za sledeći prenos



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Električni Telegraf

- ❑ William Sturgeon-ov elektro-magnet (1825)
 - Električna struja teče žicom obmotanom oko željeznog jezgra generišući magnetno polje
- ❑ Joseph Henry (1830)
 - Struja zvonjenja (pokreće zvonce) na rastojanja od jedne milje
- ❑ Samuel Morse (1835)
 - Strujni impulsi podstiču elektromagnet da generiše tačke i crte
 - Eksperimentalna telegrafska linija preko 40 milja (1844)
- ❑ Signal se prostire brzinom svjetlosti!!!
 - Oko 2×10^8 m/s po kabl



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Digitalne komunikacije

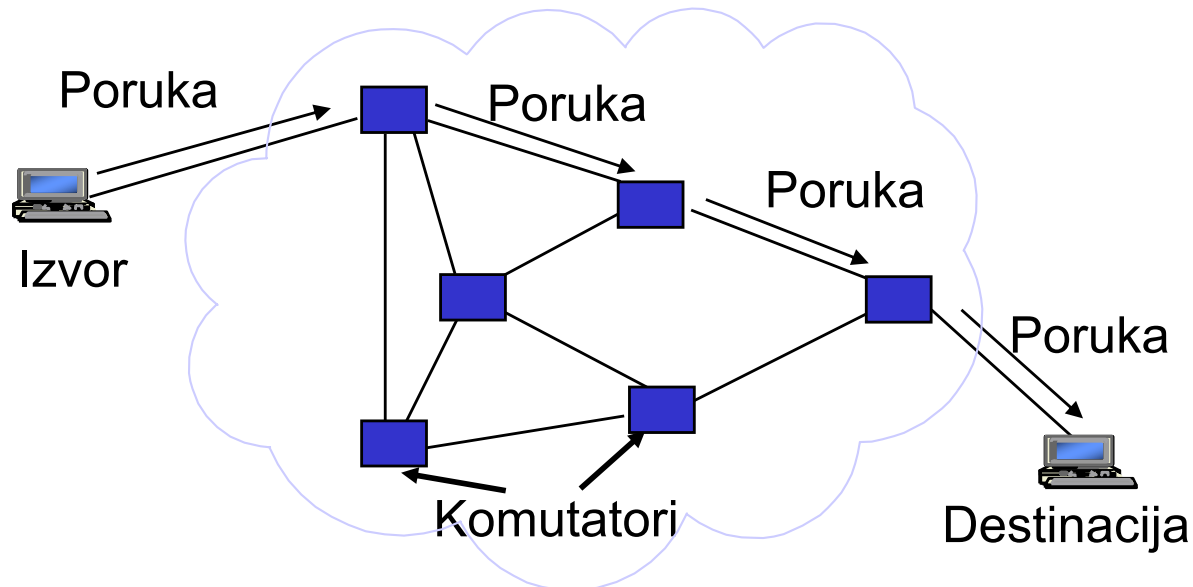
- Morzeov kod konvertuje tekstualne poruke u sekvencu tačaka i crta
- Koristi sistem prenosa dizajniran za prenos tačaka i crta

	Morzeov kod		Morzeov kod		Morzeov kod		Morzeov kod
A	· —	J	· — — —	S	... ·	2	· · — — —
B	— ...	K	— · —	T	—	3	... — —
C	— · — ·	L	· — ...	U	·· —	4	... —
D	— · ·	M	— —	V	... —	5	
E	·	N	— ·	W	· — —	6	—
F	·· — ·	O	— — —	X	— · —	7	— — ...
G	— — ·	P	· — — ·	Y	— · — —	8	— — — ·
H	····	Q	— — · —	Z	— — · ·	9	— — — — ·
I	··	R	· — ·	1	· — — — —	0	— — — — —

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Električne Telegrafske Mreže

- ❑ Primjena električnih telegrafskih mreža je prosto eksplodirala
 - Komutacija poruka & "Store-and-Forward" funkcionisanje
 - Ključni elementi: Adresiranje, Rutiranje, Prosleđivanje
- ❑ Optičke telegrafske mreže su nestale



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Bodov Telegrafski Multiplekser

- ❑ Operator generiše 25-30 riječi/min
 - Žica može prenijeti mnogo više!!!!!!
- ❑ Bodov (Baudot) multiplekser: Kombinuje 4 signala po 1 žici
 - Binarni blok *kod* (prakod ili ASCII kod)
 - Karakter se predstavlja sa 5 bita
 - Vremensko *multipleksiranje*
 - *Kreiranje okvira* se zahtijeva radi detekcije karaktera iz binarne sekvence multipleksnog signala
 - *Tastatura (Keyboard)* konvertuje karaktere u bite

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Bodov Telegrafski Multiplekser

Tastatura



... $A_3 A_2 A_1$

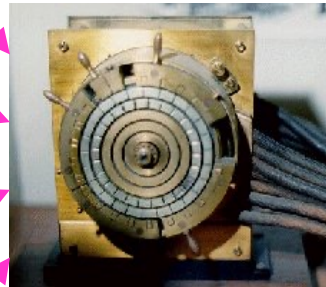
... $B_2 B_1$

... $C_2 C_1$

... $D_3 D_2 D_1$

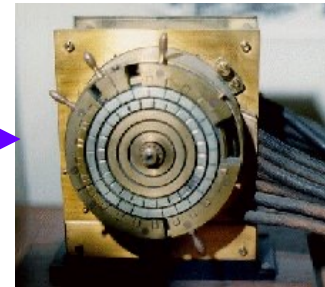
5 b / karakteru

Bodov
Multiplekser



... $A_2 D_1 C_1 B_1 A_1$

Bodov Demultiplekser



Štampač
papierne trake

Štampač
papierne trake

Štampač
papierne trake

Štampač
papierne trake

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telegrafija

Elementi arhitekture telegrafske mreže!!!!!!!!!!

❑ Digitalni prenos

- Tekstualne poruke se konvertuju u simbole (tačka/crta, nule/jedinice)
- Sistem prenosa je dizajniran za prenos simbola

❑ Multipleksiranje

- *Kreiranje okvira* je potrebno za identifikaciju početka i kraja poruke

❑ Komutacija poruka

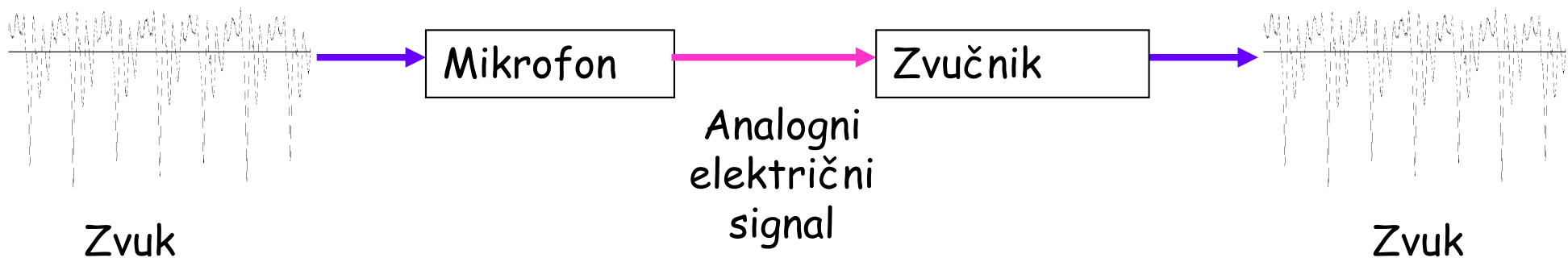
- Poruke sadrže adrese izvora & destinacije
- *"Store-and-Forward"*: Poruke se prosleđuju hop-po-hop preko mreže
- *Rutiranje* se vrši na bazi adrese željene destinacije

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Belov (Bell) Telefon

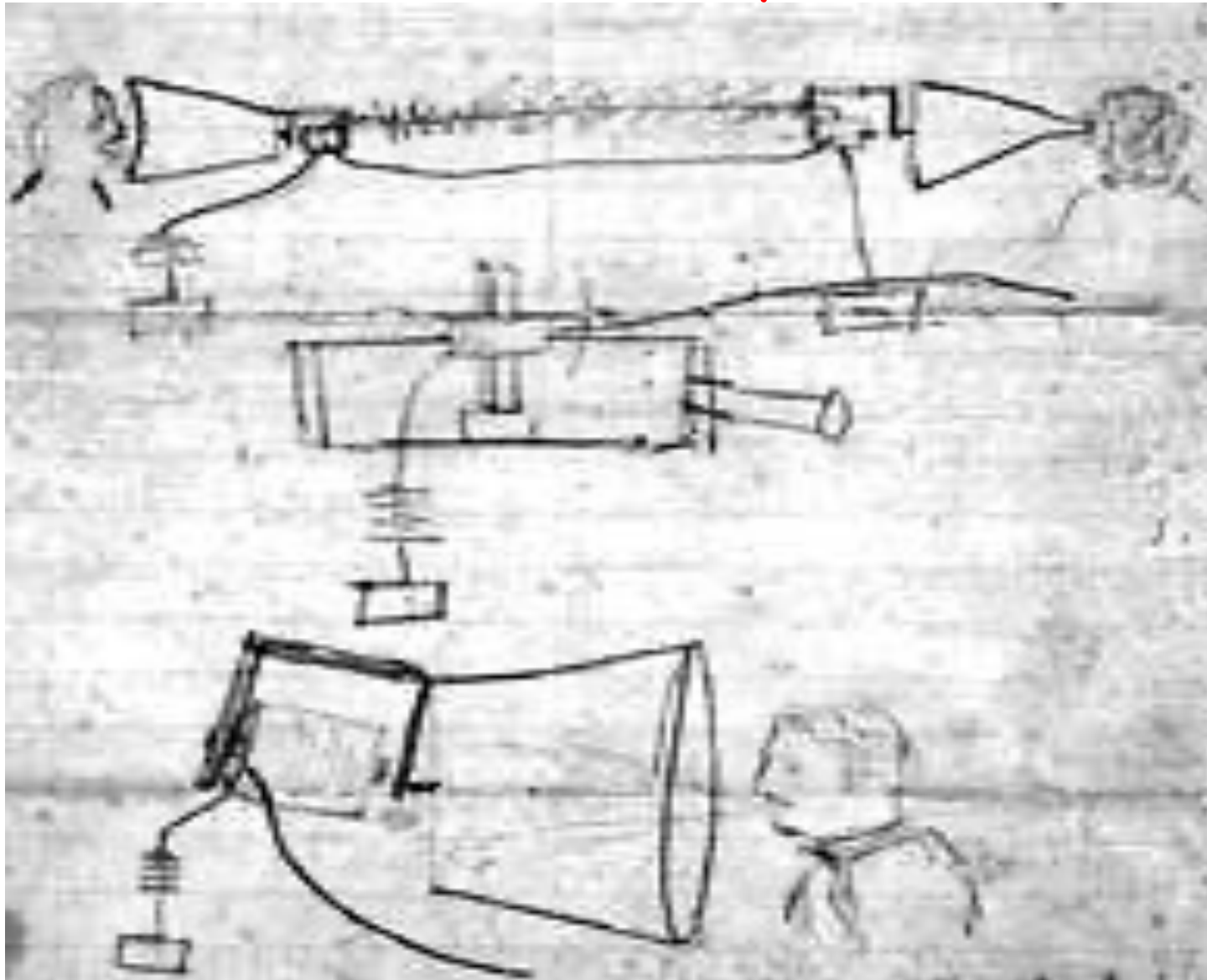
- ❑ Aleksandar Graham Bel (1875) je istraživao harmonijski telegraf radi multipleksiranja telegrafskih signala
- ❑ Otkrio je da se govorni signali može prenositi direktno
 - Mikrofon konvertuje zvuk u *analogni* električni signal
 - Zvučnik konvertuje električni signal u zvuk
- ❑ Patent telefona je zaštićen 1876.
- ❑ "Bell Telephone Company" je osnovana 1877.

Signal za "i"



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Belova skica telefona



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

November 15, 1876

*Chauncey M. Depew
President, Western Union Telegraph Co.
New York City*

Dear Mr. Depew:

This committee was formed at your request to consider the purchase of U.S. Patent 174,465 by the Western Union Company. Mr. Gardiner G. Hubbard and Mr. A. G. Bell, the inventor, have demonstrated their device, which they call the "telephone," for us, and discussed their plans for its use.

The "telephone" purports to transmit the speaking voice over telegraph wires. We found that the voice is very weak and indistinct, and grows even weaker when long wires are used between the sender and receiver. Technically, we do not see that this device will ever be capable of sending recognizable speech over a distance of several miles.

Messrs. Hubbard and Bell want to install one of their "telephone" devices in virtually every home and business establishment in the city. This idea is idiotic on the face of it. Furthermore, why would any person want to use this ungainly and impractical device when he can send a messenger to local telegraph office and have a clear written message sent to any large city in the United States?

The electricians of our own company have developed all the significant improvements in the telegraph art to date, and we see no reason why a group of outsiders, with extravagant and impractical ideas, should be entertained, when they have not the slightest idea of the true practical problems involved. Mr. G. G. Hubbard's fanciful predictions, while they sound very rosy, are based upon wild-eyed imagination and a lack of understanding of the technical and economic facts of the situation, and a posture of ignoring the obvious technical limitations of his device, which is hardly more than a toy, or a laboratory curiosity. Mr. A. G. Bell, the inventor, is a teacher of the hard of hearing, and his "telephone" may be of some value for his work, but it has too many shortcomings to be seriously considered as a means of communication.

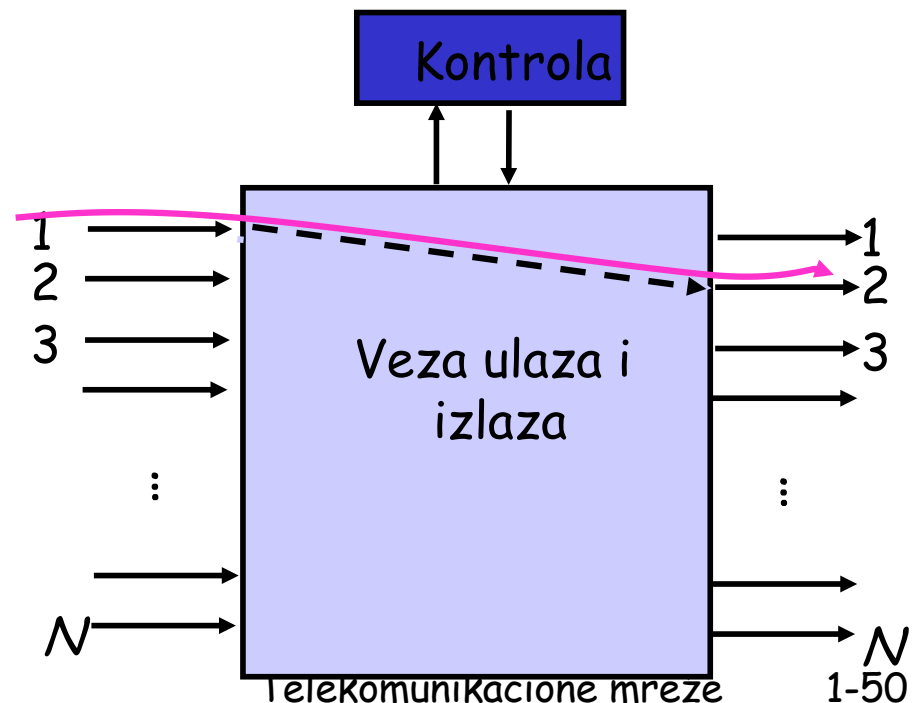
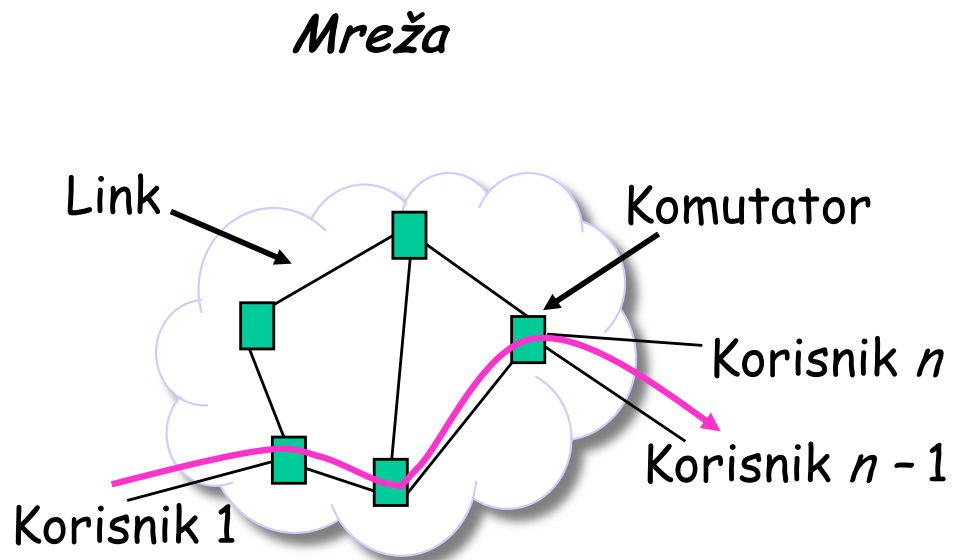
In view of these facts, we feel that Mr. G. G. Hubbard's request for \$100,000 for the sale of this patent is utterly unreasonable, since the device is inherently of no value to us. We do not recommend the purchase.

Velika zablude!

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Mreža: Linkovi & komutatori

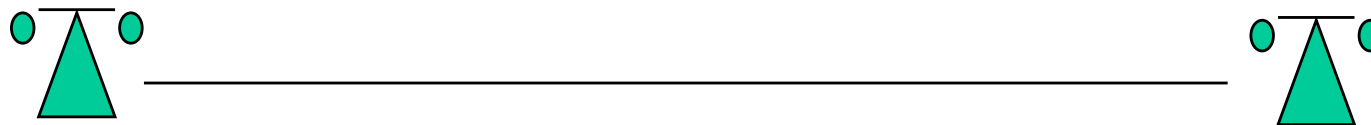
- ❑ Kola sadrže dodijeljene resurse u vidu sekvence linkova i komutatora mreže koji su zauzeti tokom čitavog trajanja komunikacije
- ❑ *Komutatori kola povezuju ulazne i izlazne linkove*
Komutator



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Signalizacija

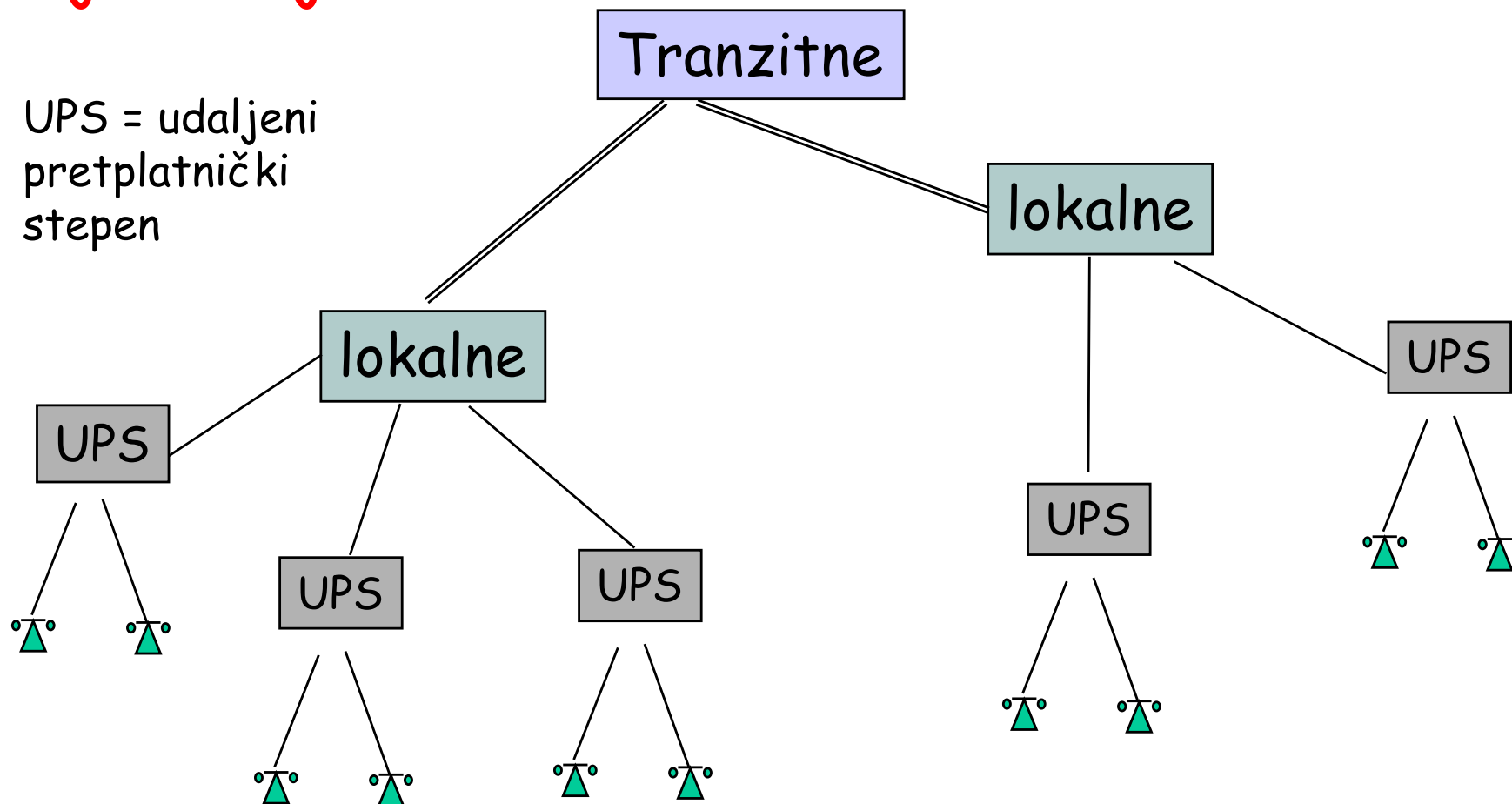
- Signalizacija je potrebna za uspostavljanje poziva
 - Trepćuće svjetlo ili zvonce signaliziraju pozvanoj strani dolazni poziv
 - Pozivajuća strana šalje informaciju operatoru o želji za uspostavljanjem poziva i adresi pozvane strane



Signalizacija + prenos govornog signala

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Hijerarhijska struktura fiksne telefonske mreže

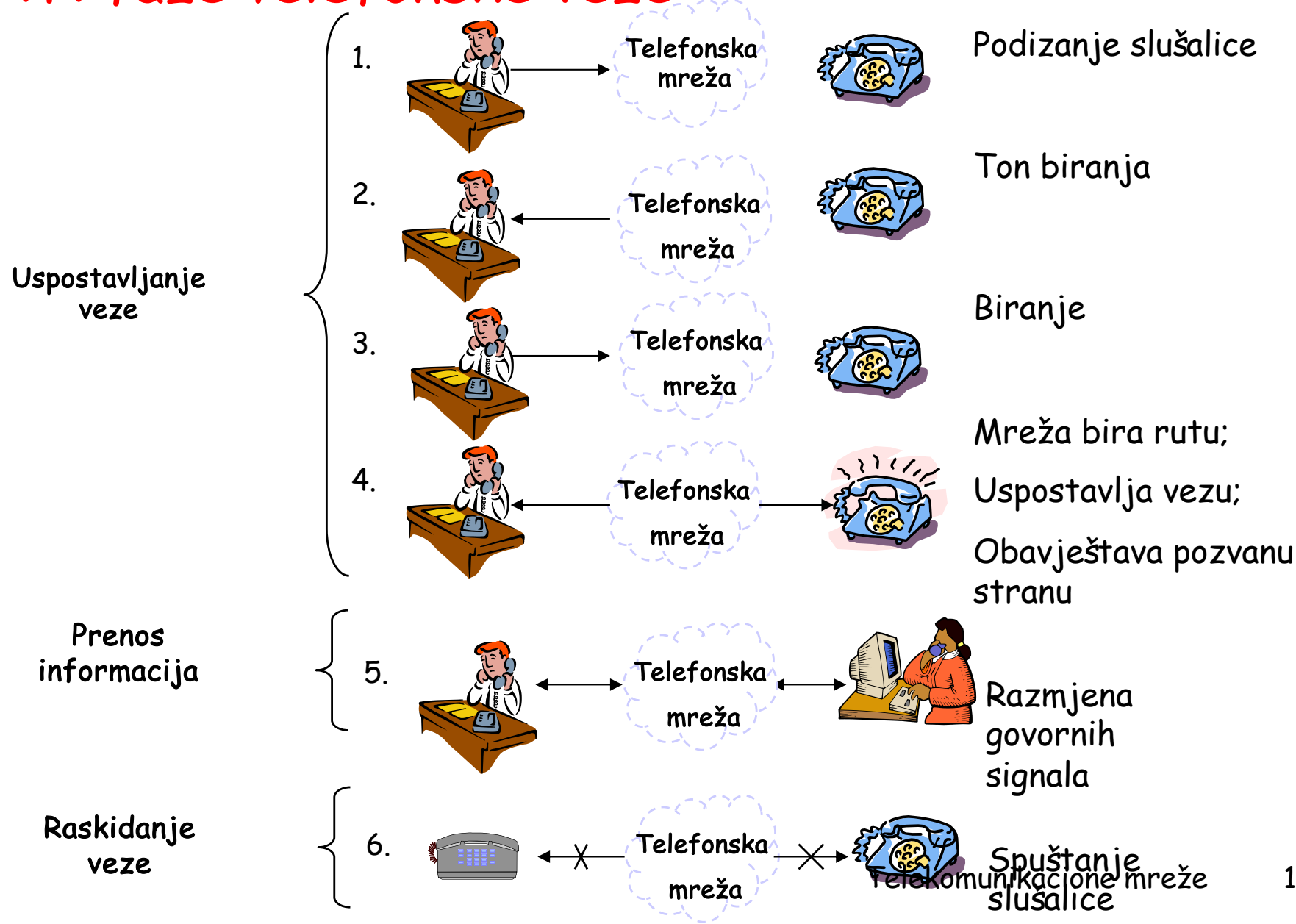


Telefonske pretplatnici su povezani na lokalne centrale

Lokalne & tranzitne centrale povezuju udaljene pretplatničke stepene

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

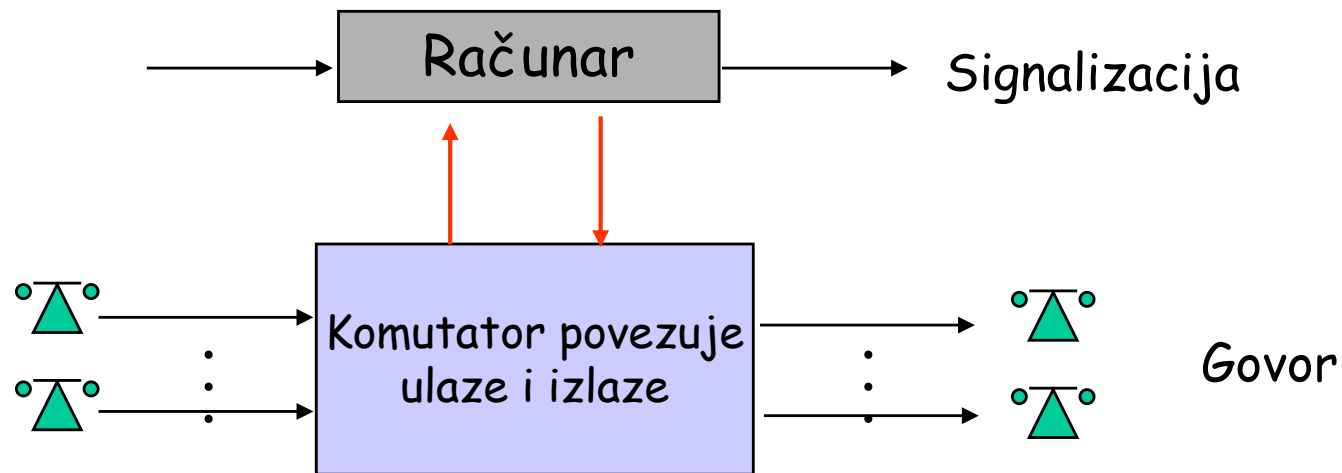
Tri faze telefonske veze



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Računarsko upravljanje vezom

- ❑ Računar kontroliše vezu u telefonskom komutacionom sistemu
- ❑ Računari razmjenjuju *signalizacione poruke* radi:
 - Koordiniranog uspostavljanja telefonskih veza
 - Radi implementacije novih servisa kao što su identifikacija, govorna pošta, ...
 - Obezbjedivanje *mobilnosti i "roaming-a"* u celularnim mrežama
- ❑ "Inteligencija" je unutar mreže
- ❑ Zahtijeva se zasebna *signalizaciona mreža*



Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Digitalizacija Telefonske Mreže

- ❑ Impulsno kodna modulacija digitalizuje govorni signal
 - Za govor $8 \text{ b/odbirku} \times 8000 \text{ odbiraka/s} = 64 \times 10^3 \text{ b/s}$
- ❑ Vremenski multipleks za digitalizovani govor
 - T-1 multipleksiranje (1961): 24 govorna kanala = $1.544 \times 10^6 \text{ b/s}$
 - E1 multipleksiranje: 32 kanala (30 govor, 1 sinhronizacija, 1 signalizacija) = $2.048 \times 10^6 \text{ b/s}$
- ❑ Digitalna komutacija (1980-tih)
 - Komutator na bazi vremenskog multipleksiranja prenosi signale bez konverzije u analogni oblik
- ❑ Digitalna celularna telefonija (1990-tih)
- ❑ Optički digitalni prenos (1990-tih)
 - jedan STM64 optički signal (OC-192) = $10 \times 10^9 \text{ b/s}$
 - jedno optičko vlakno prenosi 160 STM64 signala = $1.6 \times 10^{12} \text{ b/s!}$

Prenos, komutacija i kontrola su digitalni!!!!

Primjeri telekomunikacionih mreža: Telefonija

Elementi arhitekture telefonske mreže!!!!!!!!!!!!!!

- ❑ Digitalni prenos & komutacija
 - Digitalizovan govor; vremenski multipleks
- ❑ Komutacija kola
 - Korisnik signalizira prilikom uspostavljanja i raskidanja poziva
 - Izbor rute se vrši tokom uspostavljanja poziva
 - Veza od kraja do kraja
 - Signalizacija koordinira uspostavljanje veze
- ❑ Hijerarhijska mreža
 - Decimalni plan numeracije
 - Hijerarhijska struktura; pojednostavljeno rutiranje; skalabilnost
- ❑ Signalizaciona mreža
 - Inteligencija je unutar mreže