



PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA

*Elektrotehnički fakultet
Katedra za telekomunikacije
Beograd, 2020/2021.*



Program predmeta i način polaganja

Nastavnici i organizacija rada

Predavanja i vežbe

Predrag Ivaniš (predrag.ivanis@etf.rs, Paviljon 2, desno od ulaza u Računski centar)

Vesna Blagojević (vesna.golubovic@etf.rs, kabinet 109)

Predavanja – 2 časa nedeljno, ponedeljkom i četvrtkom 14-16h.

Računske vežbe – 2 časa nedeljno u dva termina, ponedeljkom i sredom 18-20h.

Predavanja i vežbe izvode se pomoću platforme za učenje na daljinu (na ovom predmetu koristi se platforma Microsoft Teams)



Laboratorijske vežbe

Laboratorija za telekomunikacije (soba 54)

Ilustracija teorijskih razmatranja sa predavanja i vežbi – 1 čas nedeljno.

Radi se ukupno šest vežbi (3 ciklusa sa po 2 vežbe u svakom ciklusu).

Upoznavanje studenata sa mernim uređajima i programima.

MS Teams

* Naziv tima: 13s032pmt

* Opis tima: Principi modernih telekomunikacija

* Link za pristup:

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3ad88add9ebccd4aad9db1f12d3dc10e0a%40thread.tacv2/conversations?groupId=3357d3d2-58c2-4b9c-af9d-cf11316c69bd&tenantId=1774ef2e-9c62-478a-8d3a-fd2a495547ba>



* Materijali koje će biti moguće preuzeti

- Prezentacije sa svih časova predavanja i vežbi
- Sve prezentacije će biti dostupne i u obliku video fajla, sa animacijama i pratećim audio zapisom
- Softver za vežbu koji na interaktivan način ilustruje lekcije

Kolokvijumi i domaći zadaci

* Kolokvijumi

- Prvi kolokvijum – količina informacija, entropija, kompresija podataka, zaštitni kodovi, osnovi kriptografije.
- Drugi kolokvijum – spektar signala, linearni sistemi, slučajni procesi, osnovni pojmovi o modulacijama, frekvencijski multipleks (FDM), teorema o odabiranju, impulsna kodna modulacija, vremenski multipleks (TDM).
- Treći kolokvijum – prenos digitalnog signala, digitalni modulacioni postupci, primeri telekomunikacionih sistema (GSM, UMTS, LTE, ADSL, optički prenos, satelitski sistemi, Internet of Things).
- Kolokvijumi određuju 80% poena ka osnovu kojih se formira ocena.

* Domaći zadaci u toku semestra

- Rok za predaju svakog domaćeg zadatka je 30 dana.
- Domaći zadaci određuju ukupno 20% poena.

Organizacija ispita i ocenjivanje

- * Ukupna ocena dobija se zbirom ocena dobijenih na kolokvijumima, završnom ispitu (trećem kolokvijumu) i domaćim zadacima, odnosno:

$$\text{POENI} = \text{K1} + \text{K2} + \text{I} + \text{DZ1} + \text{DZ2} + \text{DDZ}$$

- * Ograničenja

- $\text{K1} \leq 25$, $\text{K2} \leq 25$, $\text{I} \leq 30$
- $\text{DZ1} \leq 10$, $\text{DZ2} \leq 10$
- $\text{DDZ} \leq 10$ (dodatni domaći zadatak, pod posebnim uslovima)
- K1 se može nadoknaditi u terminu K2 ili u januarском ispitnom roku (u terminu ispita)
- K2 se može nadoknaditi u januarском ili februarском ispitnom roku
- Kolokvijumi (K1 i K2) traju po dva sata, ispit traje tri sata
- Ukoliko neki od kolokvijuma ne bude moguće održati u predviđenom terminu, odgovarajući poeni će moći da se osvoje na završnom ispitu.

- * Ispit je položen ako je ispunjeno sledeće:

- Urađene laboratorijske vežbe
- $\text{POENI} \geq 51$

- * Ocena se formira prema sledećem pravilu:

0-50 poena: ocena 5; 51-60 poena: ocena 6; 61-70 poena: ocena 7;

71-80 poena: ocena 8; 81-90 poena: ocena 9; 91-100 poena: ocena 10.

Komunikacija sa studentima

* Konsultacije vezane za gradivo

- Kabinet 109
- Paviljon II, prva vrata desno pre ulaza u Računski centar ETF-a.

* Konsultacije vezane za laboratorijske vežbe

- Mail na vesna.golubovic@etf.rs

* Informacije

- Prezentacije sa predavanja, termini za laboratorijske vežbe, tekstovi domaćih zadataka, rešenja i rezultati kolokvijuma,...
- Način komunikacije:
 - Preko mejling liste – <https://lists.etf.rs/wws/info/13s032pmt>
 - Svi koji zvanično prijave predmet biće automatski na listi
 - *Shared documents*:
 - Prezentacije sa predavanja i vežbi
 - Ispitni rokovi i rešeni zadaci sa kolokvijuma
 - Spiskovi za laboratorijske vežbe

Literatura

- [1] P. Ivaniš, V. Blagojević, “*Uvod u digitalne telekomunikacije*”, Akademska misao, Beograd, 2020. (u prodaji krajem oktobra)
- [2] D. Drajić, P. Ivaniš, “*Uvod u teoriju informacija sa kodovanjem*”, 4. izdanje, Akademska misao, Beograd, 2018.
- [3] Dukić M, *Principi telekomunkacija*, Akademska misao, 2008, Beograd.
- [4] Haykin S., *Communication Systems*, JohnWiley&Sons, Inc., 1998, New York.
- [5] Sklar B., *Digital Communications – Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [6] Praktikum za laboratorijske vežbe
- [7] Materijali korišćeni pri izvođenju predavanja i vežbi.

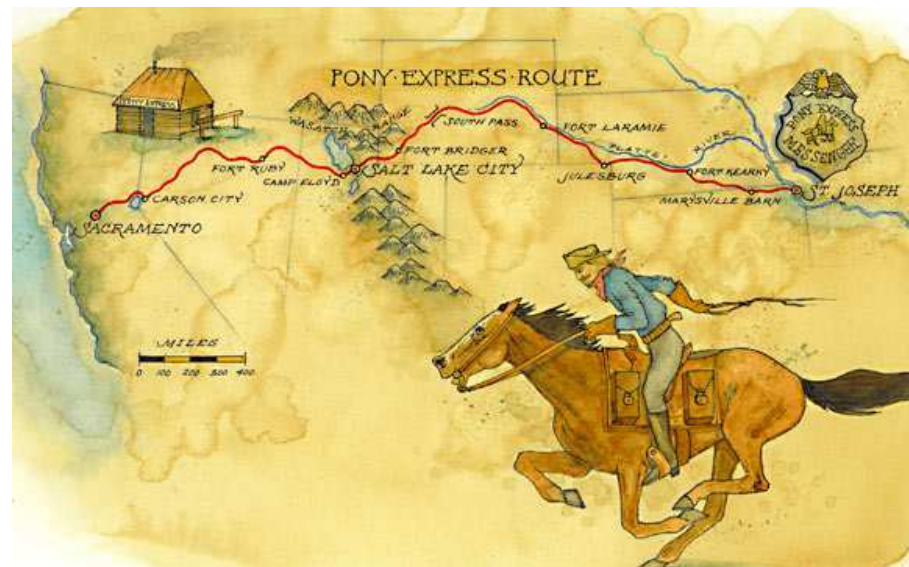
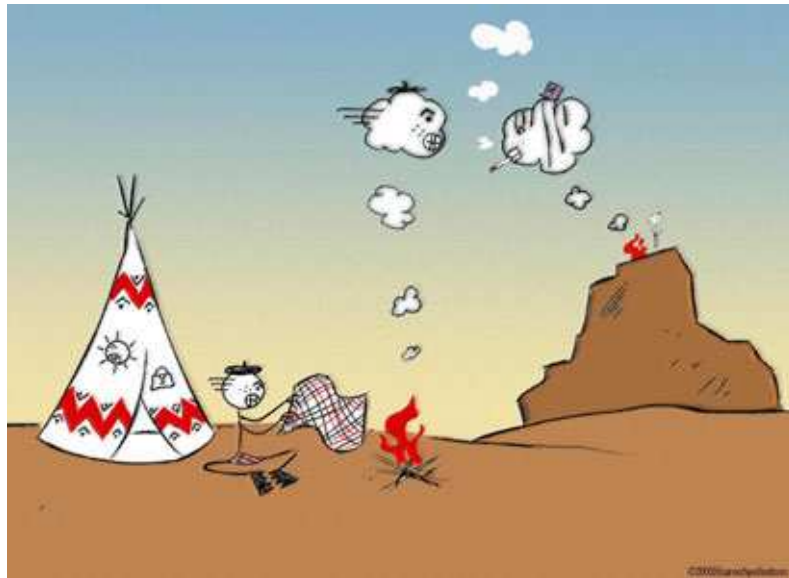


- I -
UVOD

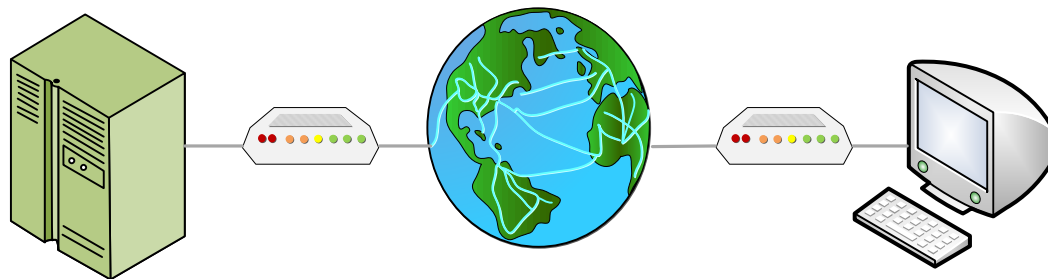
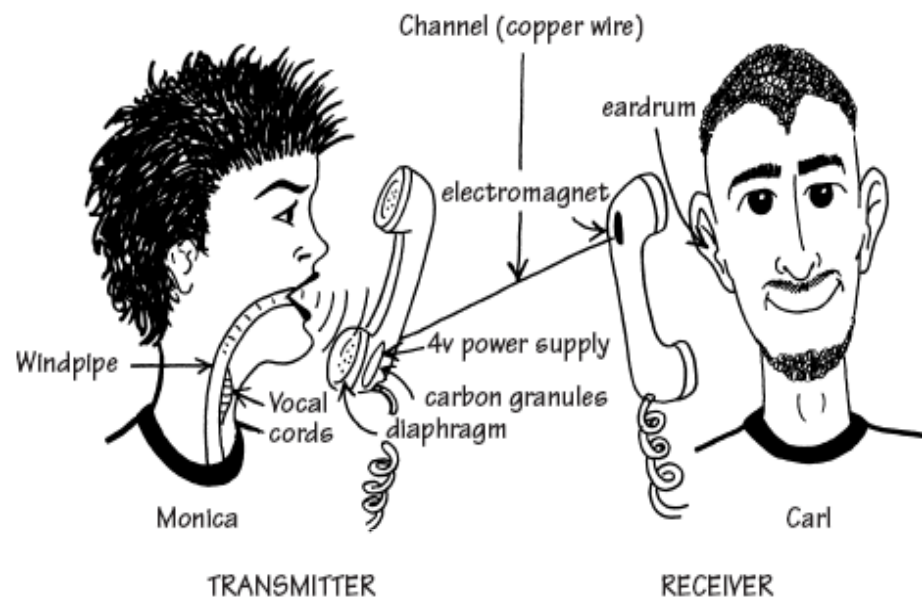
Komunikacioni proces!

- * **Definicija:** Telekomunikacije predstavljaju prenos poruka sa jedne lokacije (emitovane u jednom trenutku) na drugu lokaciju (gde je primljena u drugom trenutku), posredstvom elektromagnetnih talasa.
- * **Prenos poruke (informacije) se obavlja kroz sledeći niz procesa:**
 - generisanje signala poruke (*message*): *govor, muzika, video, tekst, slika, podaci (niz bita)*;
 - predstavljanje signala poruke sa određenom dozom preciznosti skupom simbola: električnih, vidljivih ili čujnih;
 - pretvaranje ovih simbola u oblik koji je pogodan za njihov prenos preko fizičkog medijuma koji se koristi;
 - proces prenosa kodovanih simbola na željeno odredište;
 - dekodovanje i reprodukcija originalnih simbola;
 - ponovno generisanje originalnog signala poruke, sa definisanim nivoom degradacije kvaliteta – uzrokovanim nesavršenostima sistema prenosa.
- * **Problem komuniciranja je multidisciplinaran (psihologija, biologija, filozofija,...)**
- * **Telekomunikacije imaju za cilj da obezbede *tačnost* prenosa poruka (smisao i sadržaj poruke se irelevantni!).**

Prenos poruka između dve udaljene lokacije?



Primeri komunikacije



Osnovni elementi telekomunikacionog sistema

* **Predajnik (*transmitter*)**

- Generisanje signala poruke (glas, muzika, slika, podaci...)
- Opis signala poruke sa određenom preciznošću skupom simbola (električni, audio, vizuelni)
- Konvertuje signal poruke iz izvora informacija u formu koja je podesna za prenos u kanalu

* **Kanal (*channel*)**

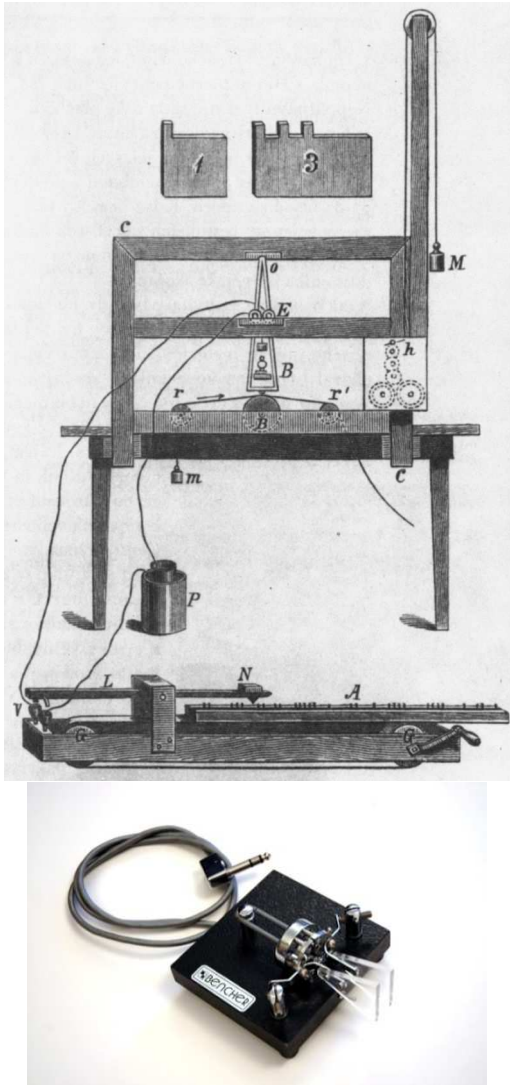
- Medijum koji služi za prenos informacije (bakarna žica, atmosfera, ...)
- Tokom propagacije (prenosa) signala kroz kanal dolazi do slabljenja i izobličenja signala usled nesavršenosti fizičkog medijuma
- Šum i smetnje iz drugih izvora se superponiraju na signal na izlazu iz kanala, pa je signal na ulazu u prijemnik izobličena verzija signala poslatog na predaji

* **Prijemnik (*receiver*)**

- Vraćanje u originalni oblik i reprodukcija originalnih simbola
- Rekonstrukcija originalnog signala poruke, sa određenom degradacijom kvaliteta (uzrokovana nesavršenostima sistema).

Prvi telekomunikacioni sistem?

Električni telegraf:



Morzeova azbuka:

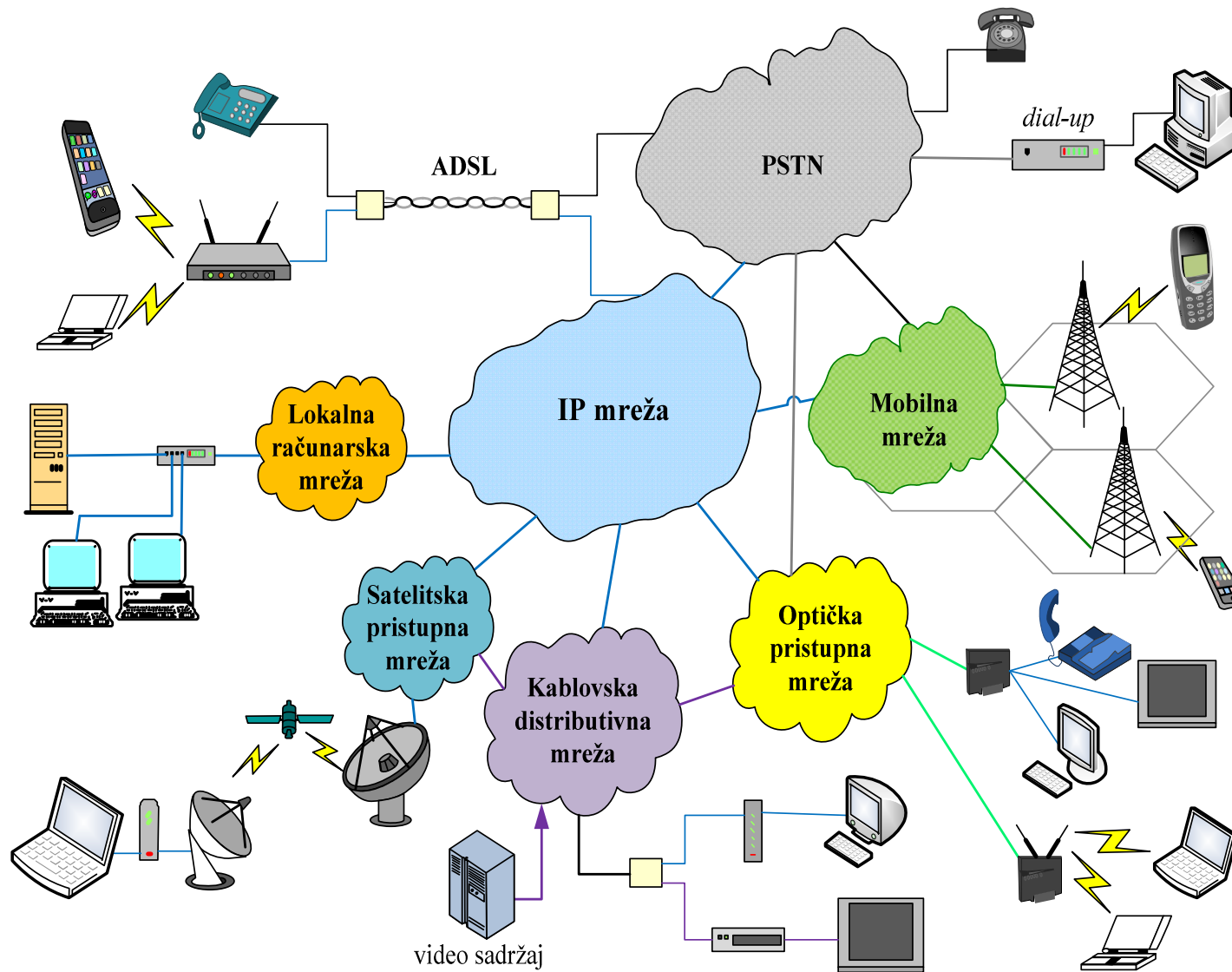
A	. -	. |	K	- -	| |	U	- -	- |	5	....	....
B	- - -	| - -	L	- -	. |	V	- - -	- |	6	- - -	| - -
C	- -	| . |	M	- -	||	W	- -	. | |	7	- - -	|| - -
D	- -	| .	N	-	. |	X	- -	| . |	8	- - -	|| - -
E	.	.	O	- - -	|| |	Y	- - -	| . | |	9	- - -	|| | .
F	- -	. | .	P	- -	. | |	Z	- -	|| .	0	- - -	|| | |
G	- -	||	Q	- - -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



Internet – globalna mreža



Internet – mreža svih mreža!



Osnovni telekomunikacioni resursi

* Dva osnovna telekomunikaciona resursa:

- **Emitovana snaga signala** (*transmitted power*) – srednja snaga signala na predaji - na ulazu u kanal;
- **Propusni opseg kanala** (*channel bandwidth*) – opseg frekvencija dodeljen za prenos signala poruke.

* Cilj pri projektovanju telekomunikacionog sistema je da se emitovana snaga i dostupan opseg frekvencija koriste na što efikasniji način

- Emitovanu snagu nije zgodno povećavati preko neke granice (zbog povećanja elektromagnetnog zračenja). Postoje kanali u kojima to nije ni moguće (npr. telefonski kanal).
- Propusni opseg je ograničen i predstavlja resurs kojim se upravlja na nacionalnom i međunarodnom nivou. Svakom sistemu na korišćenje se dodeljuje strogo ograničen opseg učestanosti.

Šta je cilj?

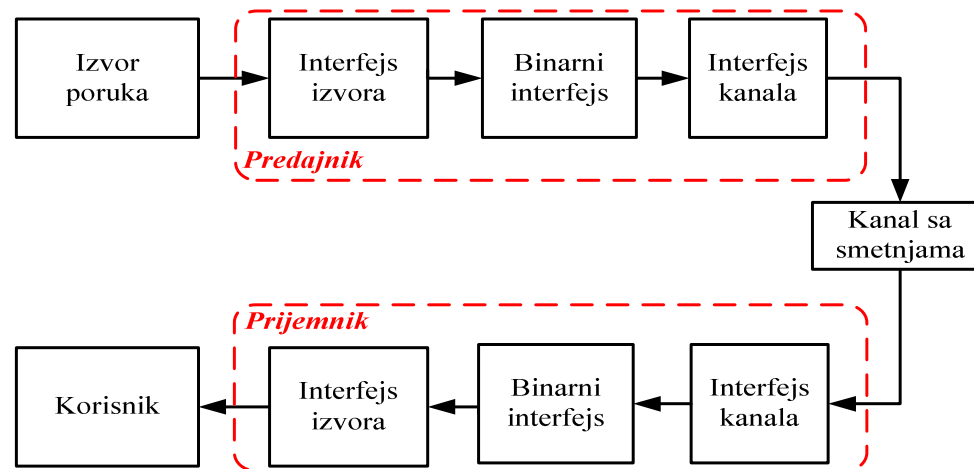
- * Cilj je izabrati takve parametre sistema da se obezbedi što je moguće brži ali pouzdan prenos (sa kontrolisanim, malim nivoom greške), za malo zauzeće resursa kanala sa što manjom emitovanom snagom.
- * Zahvaljujući alatima teorije telekomunikacija, današnji digitalni sistemi prenosa *omogućavaju skoro savršeno pouzdan prenos čak i kroz vrlo nepouzdan kanal!*
- * **Kosmičke sonde Pioneer 10 i 11:**
 - lansirana 1972;
 - 2003. od Zemlje udaljena 12.5 milijardi km;
 - dvosmerna komunikacija: 23h i 11min;
 - brzina kretanja sonde oko 44000km/h;
 - nivo signala $10^{-21}W$
 - protok 16b/s.



Detaljna blok šema sistema

Digitalni telekomunikacioni sistemi:

- Izvor i kanal su razdvojeni, pa se *interfejs izvora* i *interfejs kanala* dizajniraju nezavisno. Interfejs izvora se dizajnira u skladu sa osobinama izvora, interfejs kanala zavisi samo od osobina kanala, a međusobno su razdvojeni binarnim interfejsom.
- Obrada i skladištenje podataka se obavlja u *binarnom interfejsu*, koristeći digitalni hardver. Ove operacije ne zavise od tipa poruka koje emituje izvor i medijuma koji se koristi za prenos.
- Standardizovani binarni interfejs omogućava jednostavno spajanje podataka iz različitih izvora. Tako se tekstualne poruke, govor, fotografije ili video snimci koje generiše aplikacija mobilnog telefona na ovom nivou posmatraju na isti način – kao sekvenca binarnih simbola. Binarni interfejs u velikoj meri olakšava i umrežavanje raznorodnih uređaja.



Izvor – tipovi signala

* Prema obliku signala po vremenu:

- **Kontinualni** – signal čija je vrednost definisana u svakom trenutku;
- **Diskretni** – signal čija je vrednost specificirana samo u pojedinim, diskretnim, trenucima (koji su često celobrojni umnošci jednog vremenskog intervala).

* Prema mogućim vrednostima amplitude (naponskim nivoima)

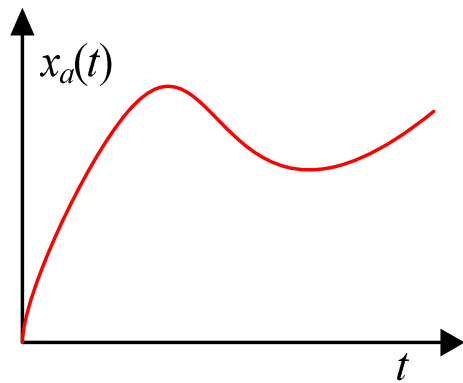
- **Analogni** – signal čija amplituda može uzeti bilo koju vrednost u određenom opsegu;
- **Digitalni** – signal čija amplituda uzima konačan broj vrednosti iz nekog skupa (binarni – dve vrednosti, odgovaraju simbolima “0” i “1”, M-arni -> M vrednosti, odgovaraju simbolima “0”, “1”, ..., “M-1”).

* Prema prirodi:

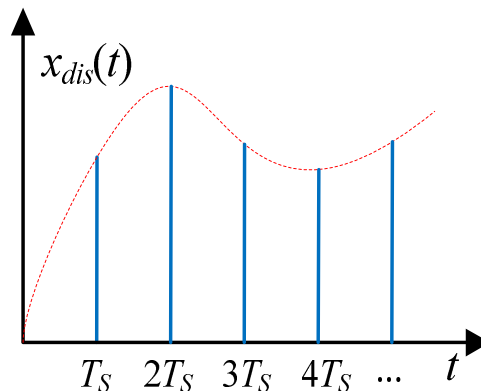
- **Deterministički** – može se predstaviti vremenskom funkcijom $x(t)$ koja određuje vrednost signala u bilo kom trenutku u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti
 - Periodični – ako važi $x(t)=x(t+T)$, tada minimalno T koje ovo zadovoljava predstavlja periodu signala $x(t)$.
 - Aperiodični – signal kod koga gornji uslov nije zadovoljen.
- **Slučajni** – oko njihove vrednosti u svakom trenutku postoji određena neizvesnost. Pri opisu ovakvih signala koriste se statistički modeli.

Interfejs izvora

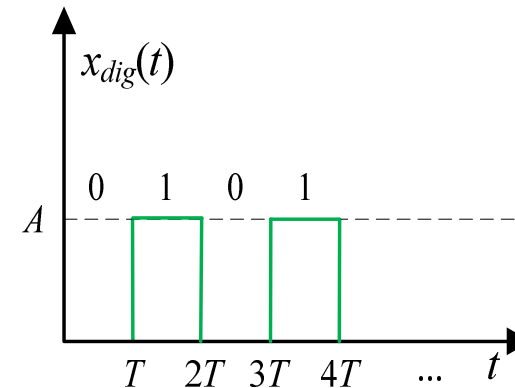
- * Signal se pretvara u **električni oblik** a zatim se obično digitalizuje.
- * **Digitalizacija** signala
 - Signal koji se prenosi je po svojoj prirodi obično kontinualan, analogan i najčešće slučajan;
 - Prvo se obavlja *diskretizacija* signala (koji je pritom još uvek analogan);
 - Nakon zaokruživanja amplituda na konačan broj nivoa (označen sa q), signal se *digitalizuje* – u tom trenutku imamo diskretan *višenivoski digitalni* signal.
 - Svaki od q nivoa predstavlja se određenom kombinacijom bita pa se svaki digitalni signal može dalje može pretvoriti u *binarni digitalni* signal.
 - I binarni digitalni signal je slučajan (inače ne nosi informaciju!).



Kontinualni signal

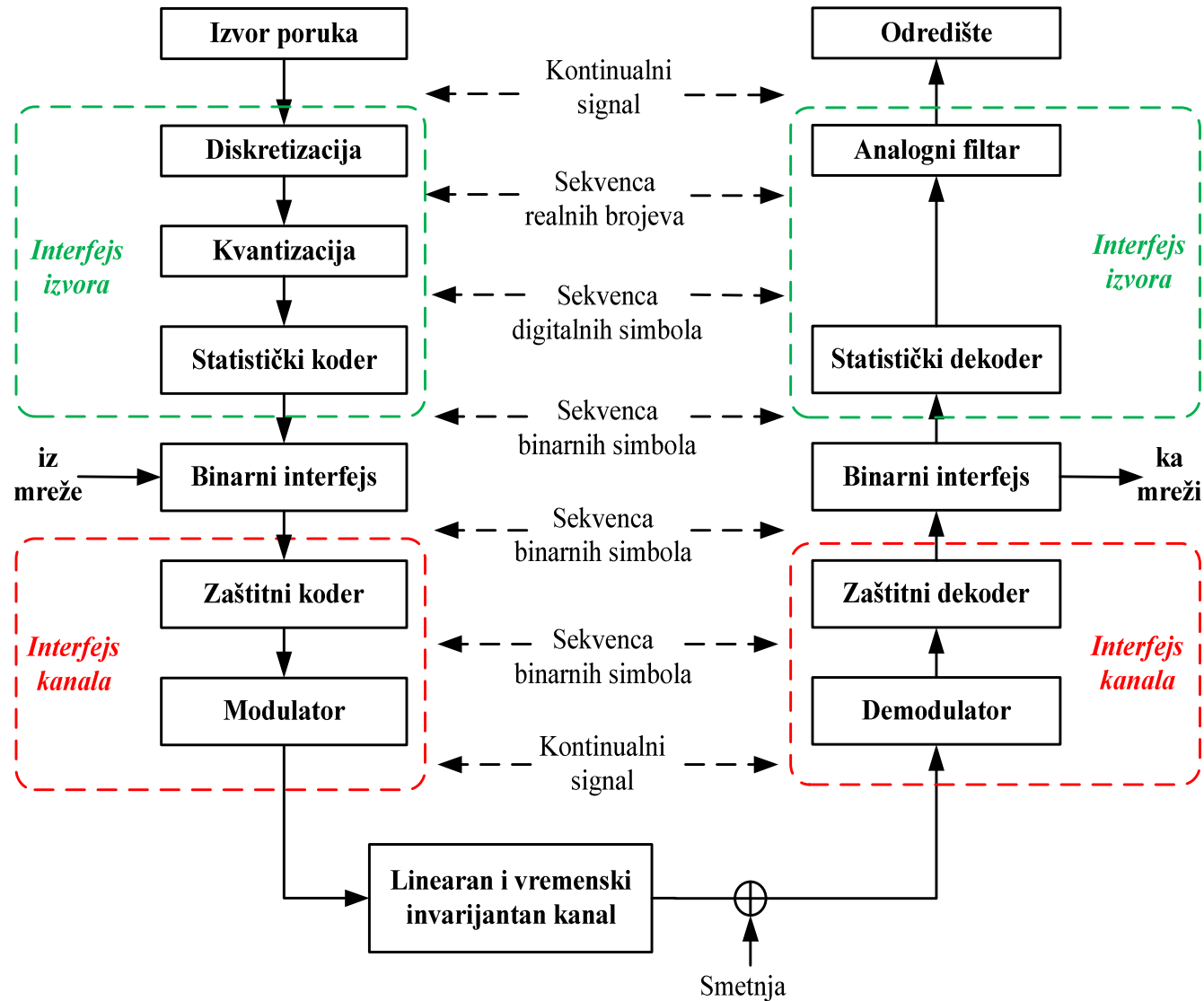


Signal diskretan
u vremenu

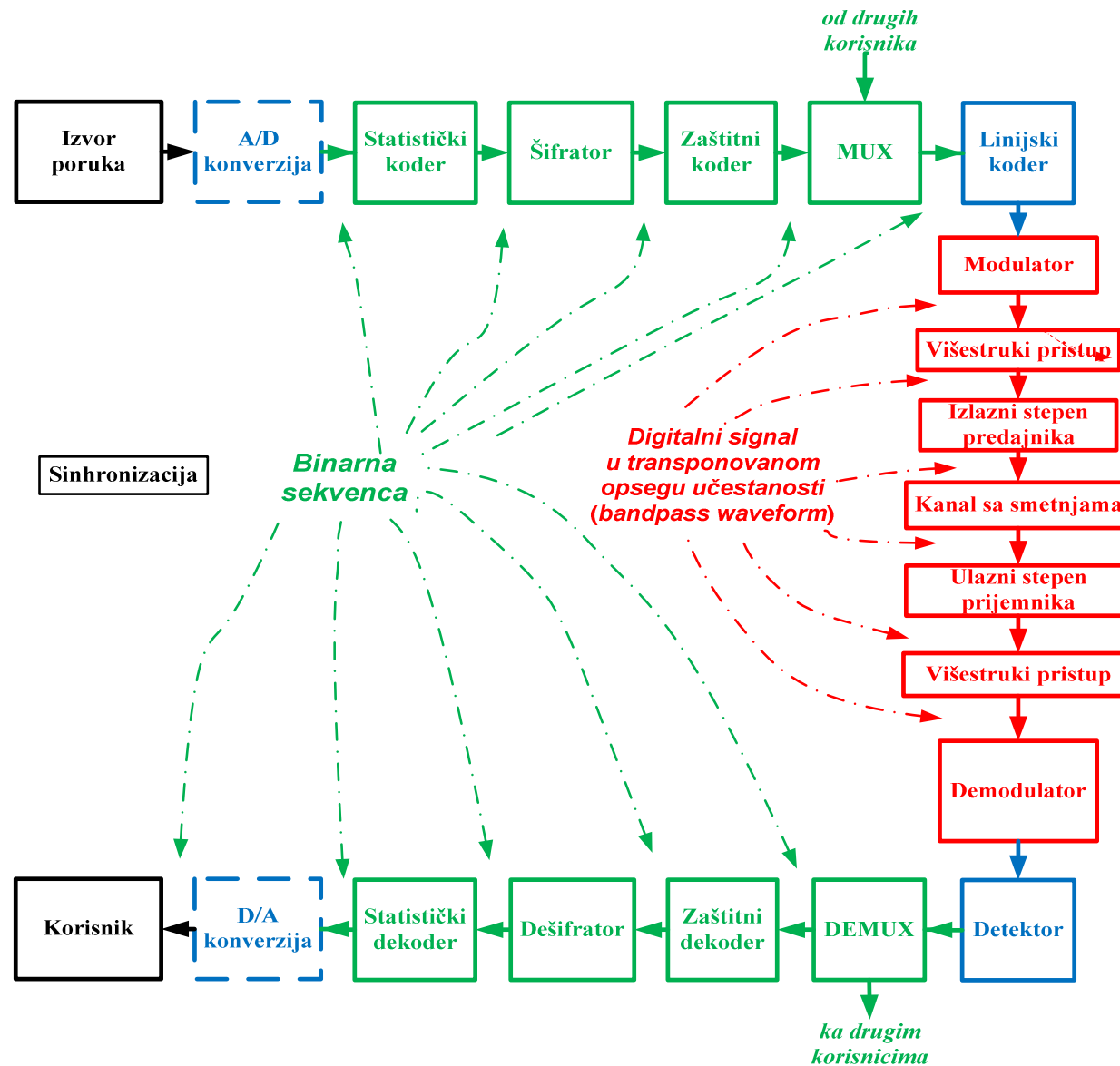


Binarni digitalni signal

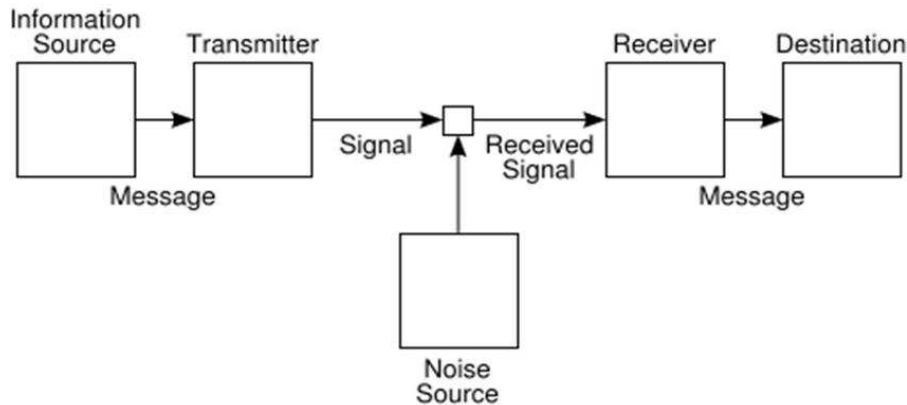
Interfejs kanala



Detaljna blok šema, različiti nivoi apstrakcije



Teorija informacija

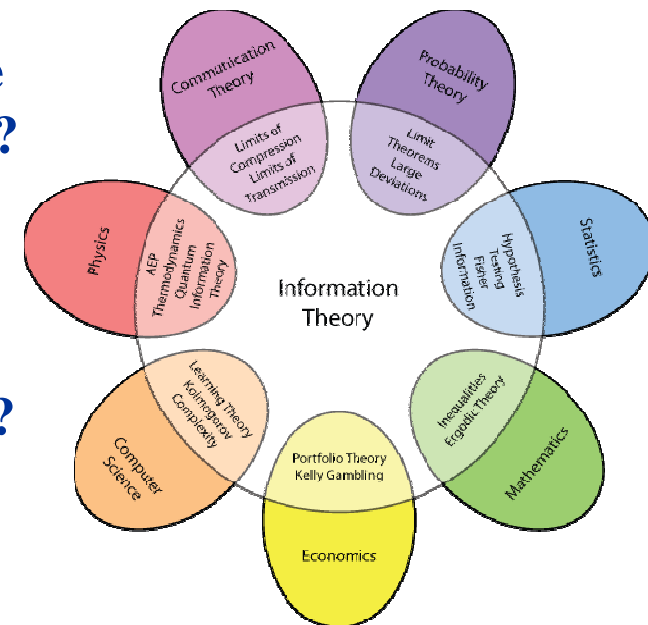


* Koji je minimalni broj simbola kojim se može predstaviti poruka, a da se ne izgubi informacija?

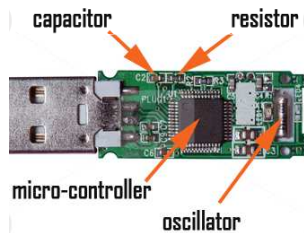
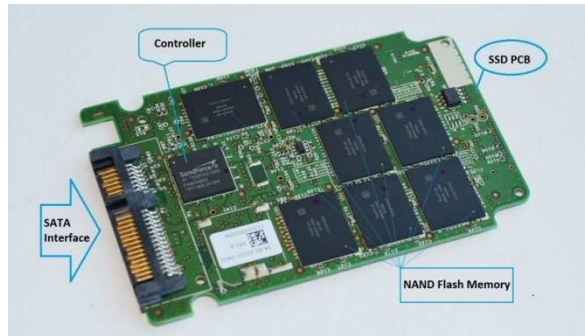
➤ Prva Šenonova teorema, bitna za kompresiju!

* Koja je maksimalna brzina prenosa informacija kroz kanal u kome postoje smetnje?

➤ Druga Šenonova teorema, bitna za pouzdan prenos podataka!



Pouzdan zapis podataka



Claude Shannon
(Information theory)



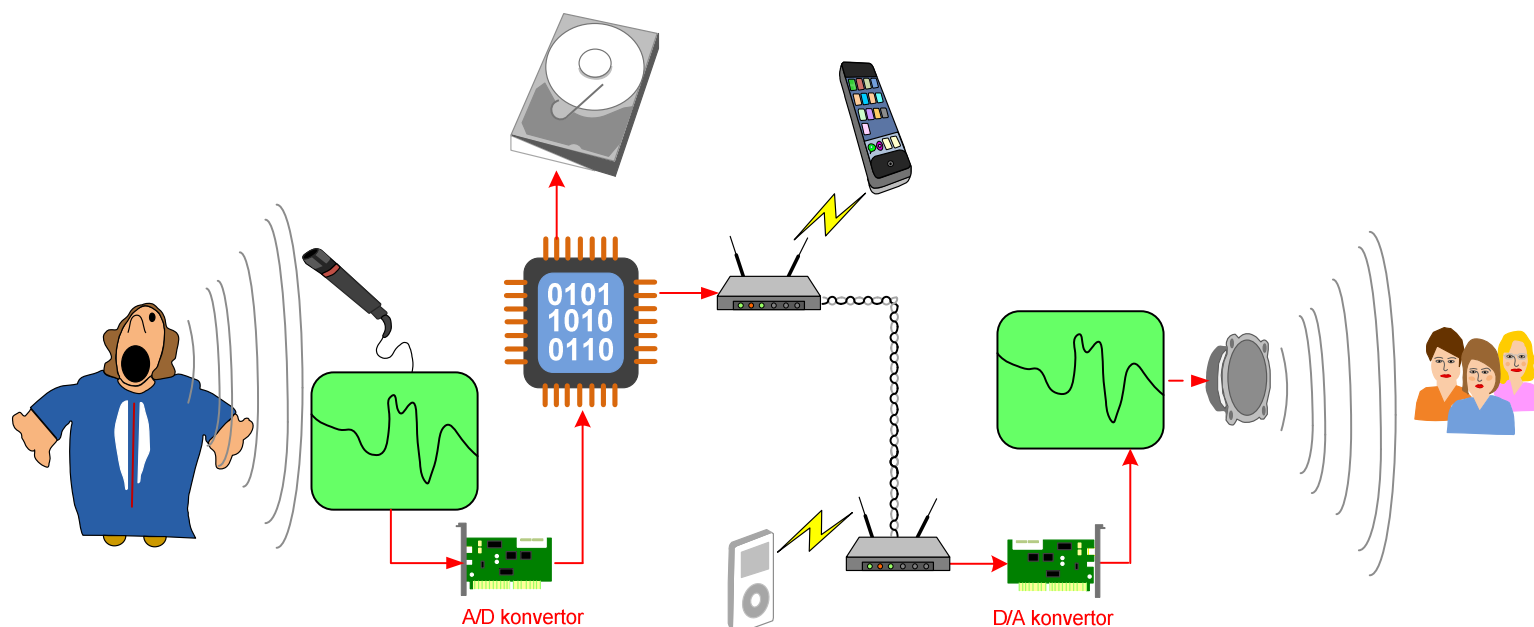
John von Neumann
(Computer Science)



George Boole
(Algebra)

Memorije koje pouzdano skladište informacije čak i kada koriste nestabilne memorijske ćelije i nepouzdana logička kola!

Diskretizacija i digitalizovanje signala



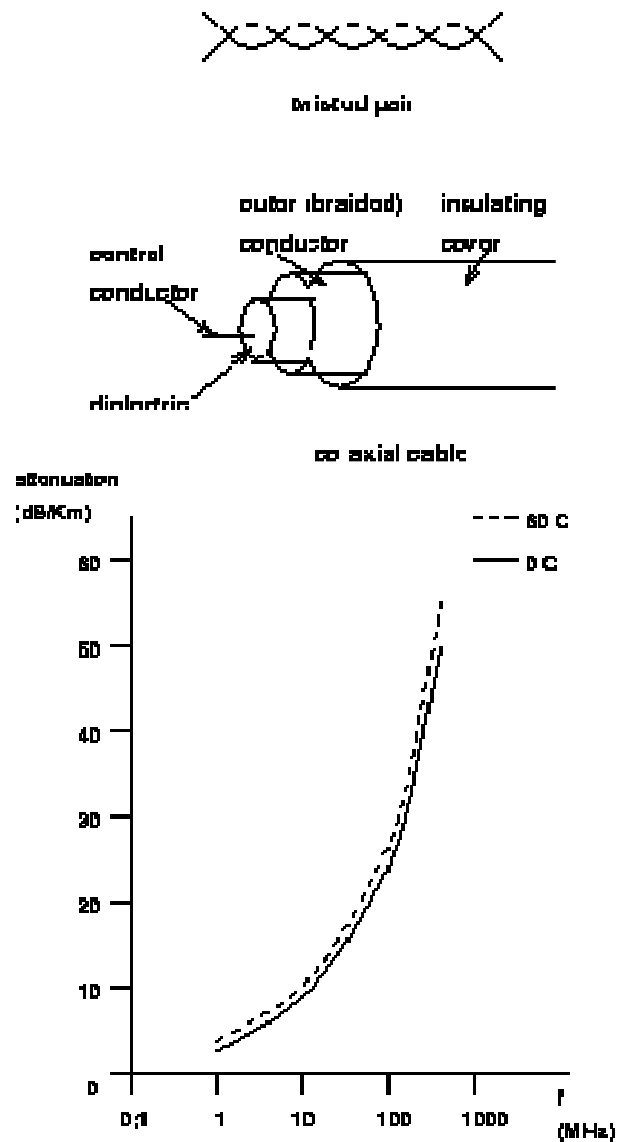
* Da li se kontinualni signal može predstaviti diskretnim signalom, a da se ne izgubi informacija?

➤ Teorema o odmeravanju (*Nyquist–Shannon sampling theorem*)

* Da li se kontinualni signal može predstaviti nizom nula i jedinica, a da se u značajnoj meri ne izgubi informacija?

* Da li se više nezavisnih signala može prenositi preko jednog fizičkog medijuma, a da jedan drugom ne smeta (multipleksiranje)?

Žične linije za prenos



Upredene parice

- Slabljenje se povećava sa frekvencijom signala i dužinom linije;
- Izražava se u dB/m, jaka slabljenja iznad 1MHz;
- Moguć prenos ~Mb/s na rastojanjima od nekoliko kilometara
 - Gubici usled otpornosti žica;
 - Gubici u dielektriku;
 - Gubici usled zračenja.

Cat	Tip kabla	Bandwidth, Maksimalni protok
1	UTP	1MHz
2	UTP	4MHz, 1Mbps
3	UTP, ScTP/FTP, STP	16MHz, 4Mbps
4	UTP, ScTP/FTP, STP	20MHz, 16Mbps
5	UTP, ScTP/FTP, STP	100MHz, 100Mbps
5e	UTP, ScTP/FTP, STP	100MHz, 1Gbps
6	UTP, ScTP/FTP, STP	200MHz, 10Gbps
7	ScTP/FTP, STP	600MHz

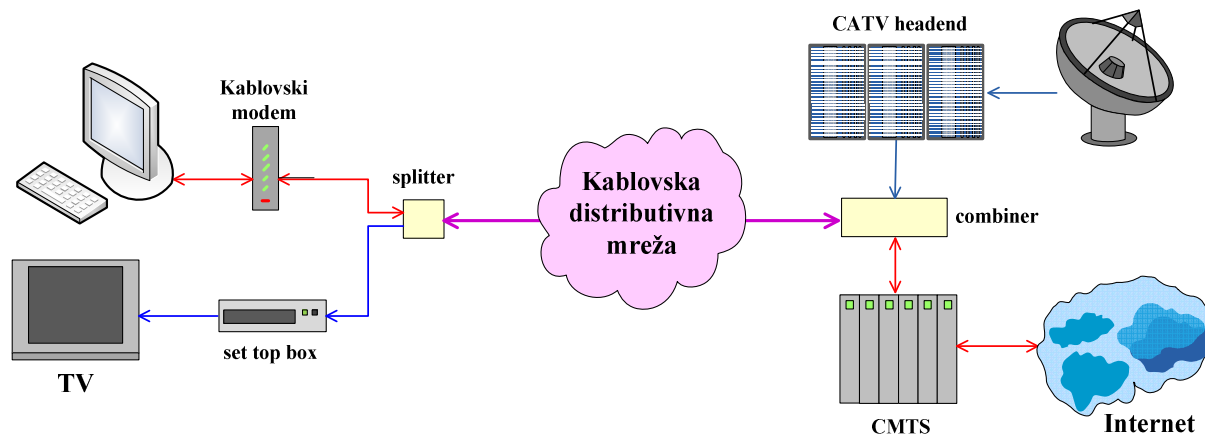
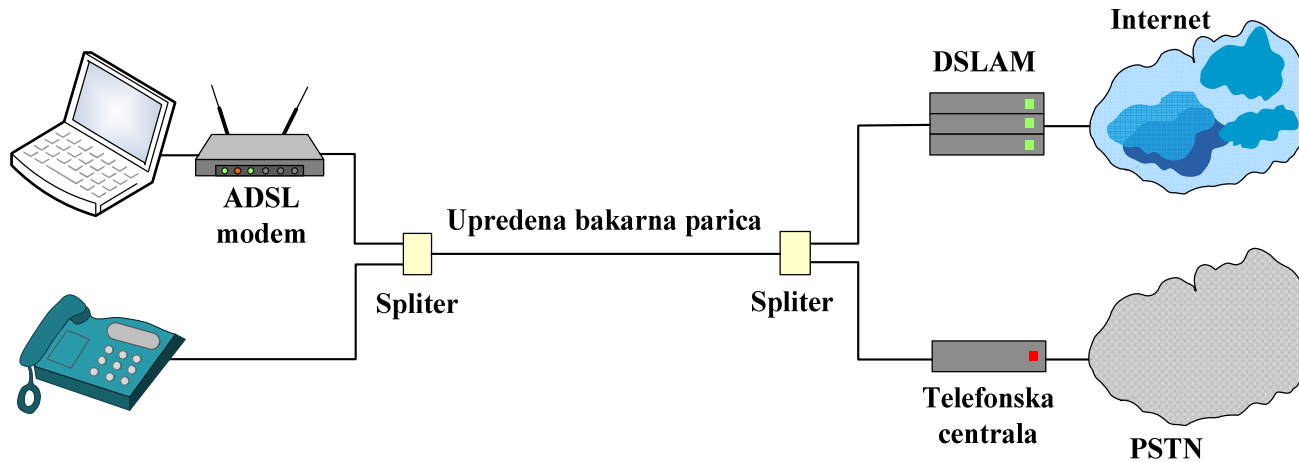
Koaksijalni kabl

- Znatno manje vrednosi slabljenja
 - 10MHz – 10dB/km, 500MHz – 50dB/km.
- Veća cena kabla;
- Veća otpornost na zračenja;
- Na rastojanjima od nekoliko kilometara prenos reda Gb/s.

ŠIRINA PROPUSNOG OPSEGA!

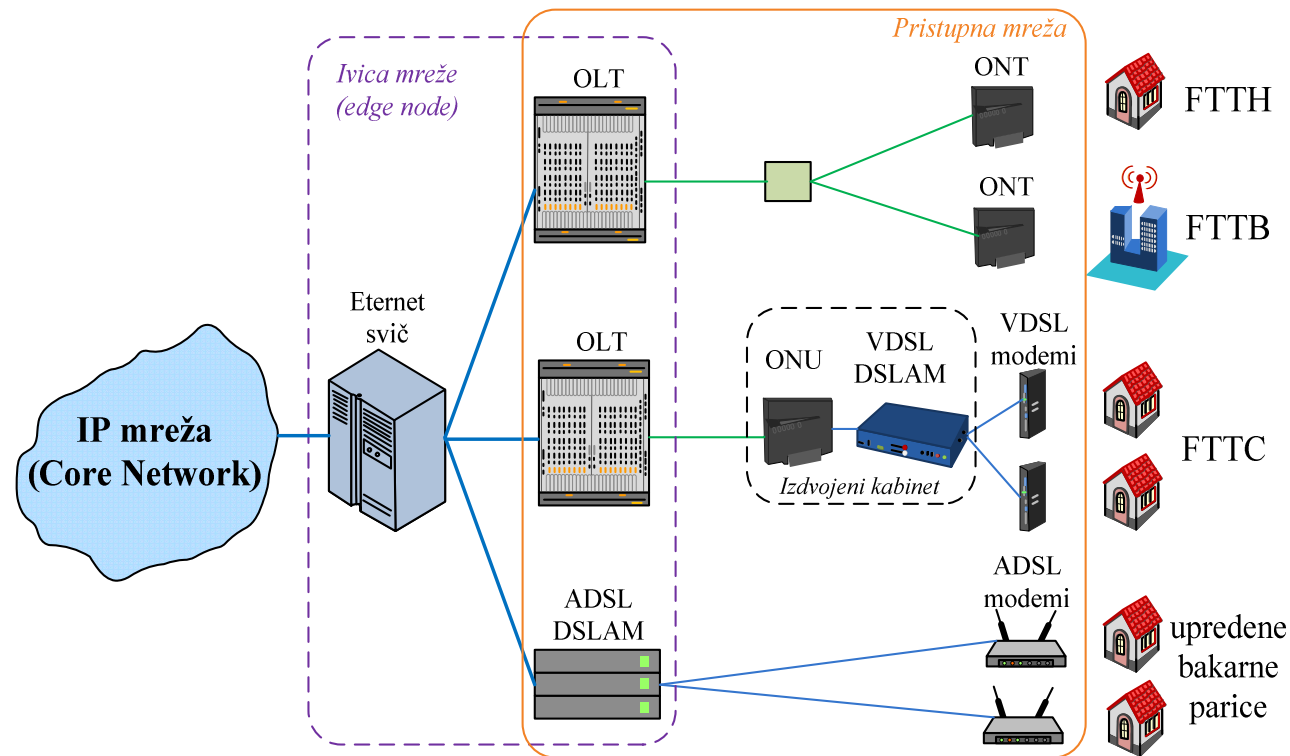
SPEKTAR, FURIJEOVA ANALIZA!

ADSL i kablovski pristup Internetu



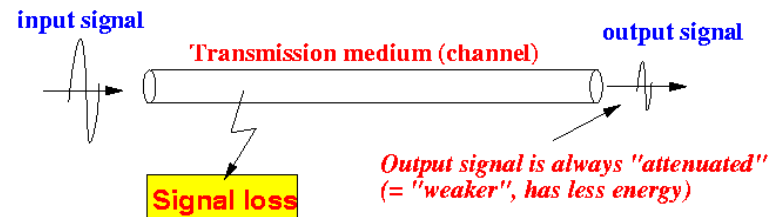
Pristup Internetu pomoću optičkih kablova

- * Paketske optičke mreže (*Packet Optical Network, PON*)
- * Optimalno rešenje je postavljanje optičkih kablova do krajnjeg korisnika (*Fiber to the Home, FTTH*)
- * Kako zamena bakarnih kablova optičkim nije jeftina, optički signal se često dovodi do zgrade (*Fiber to the Building, FTTB*), odakle se signal na neki drugi način dovodi do pojedinačnih korisnika.



Prenos u slobodnom prostoru

- * Prostiranje talasa u slobodnom prostoru – gubici usled propagacije (srazmerni kvadratu rastojanja).

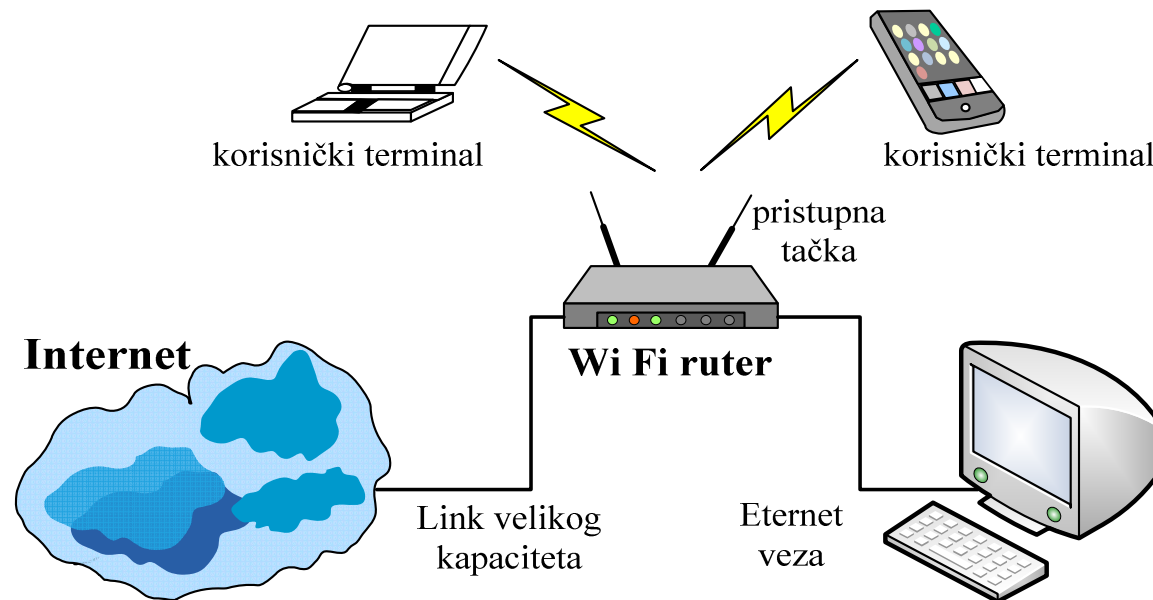


- * Više podosega sa različitim uslovima prenosa (elektromagnetski spektar):

Description	Frequency	Wavelength
High frequency	3 - 30MHz	100 - 10m
VHF	50 - 100MHz	6 - 3m
UHF	400 -1000MHz	75 - 30cm
Microwaves	$3 \times 10^9 - 10^{11}$ Hz	10cm - 3mm
Millimetre waves	$10^{11} - 10^{12}$ Hz	3mm - 0.3mm
Infrared	$10^{12} - 6 \times 10^{14}$ Hz	0.3mm - 0.5 μ m
Light	$6 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$ Hz	0.5 μ m - 0.4 μ m
Ultra-violet	$8 \times 10^{14} - 10^{17}$ Hz	0.4 μ m - 10^{-9} m
X-rays	$10^{17} - 10^{19}$ Hz	10^{-9} m - 10^{-12} m
Gamma rays	$> 10^{19}$ Hz	$< 10^{-12}$ m

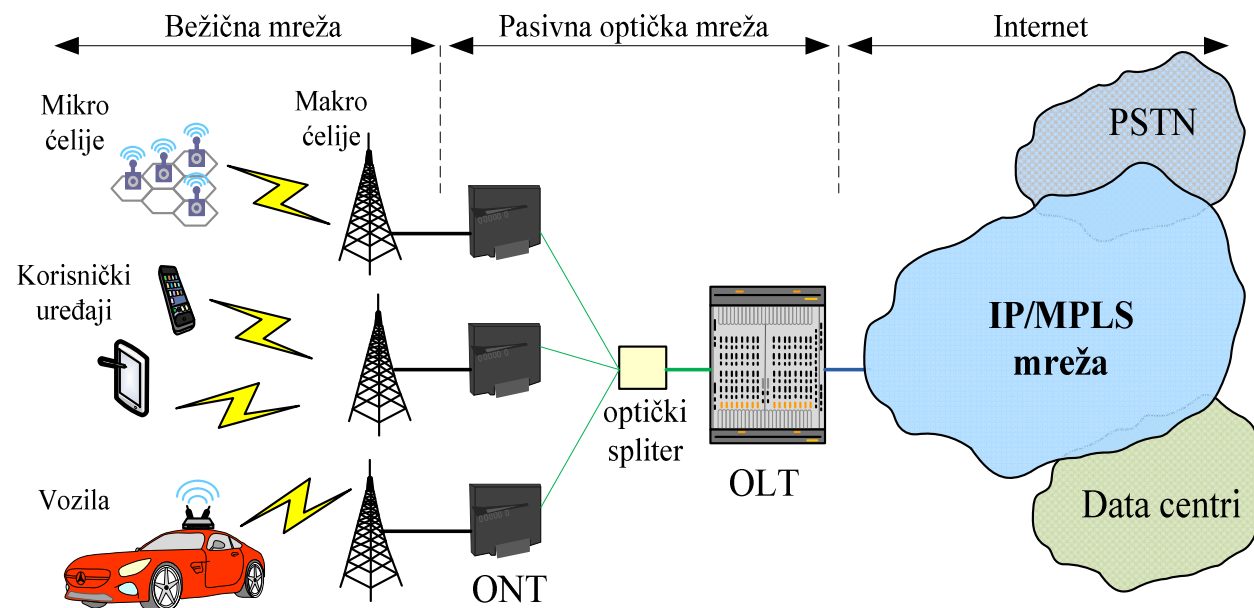
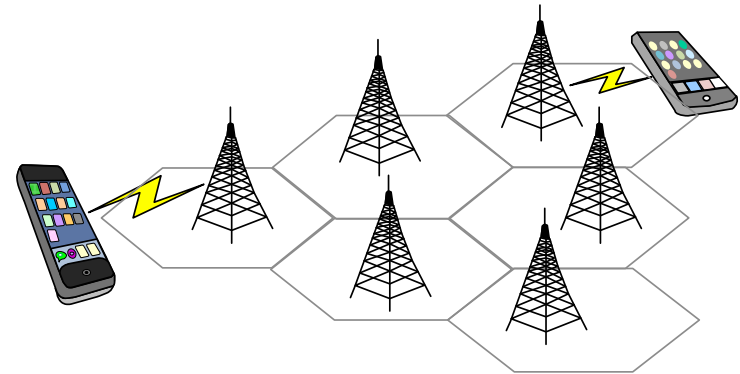
Wi-Fi

- * **Fleksibilnost u pristupu korisničkih terminala ruteru**
- * **Pokrivenost male teritorije, relativno male snage**
- * **Prenos u nelicenciranom opsegu učestanosti**

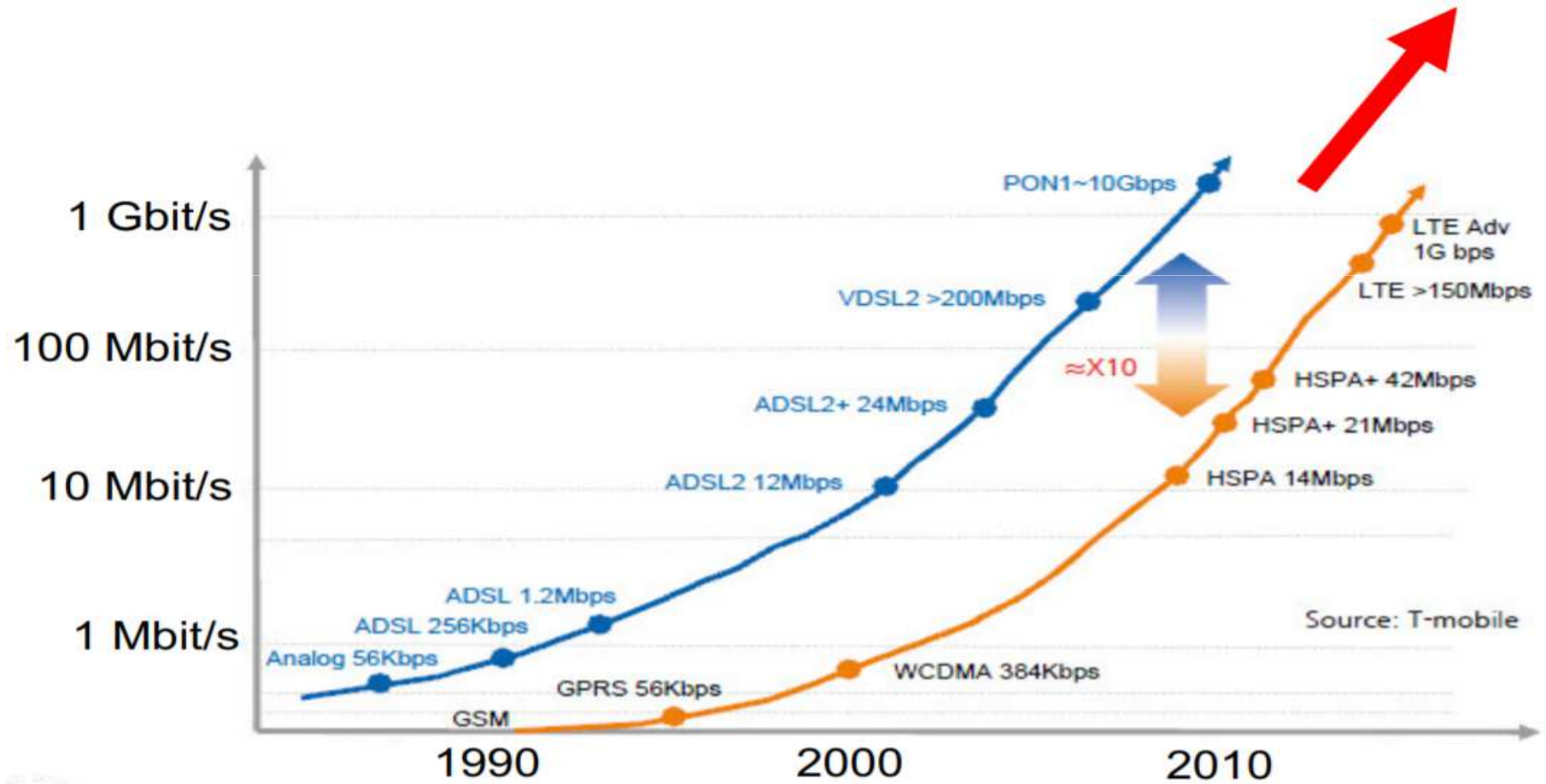


Mobilni radio sistemi (GSM, UMTS, LTE)

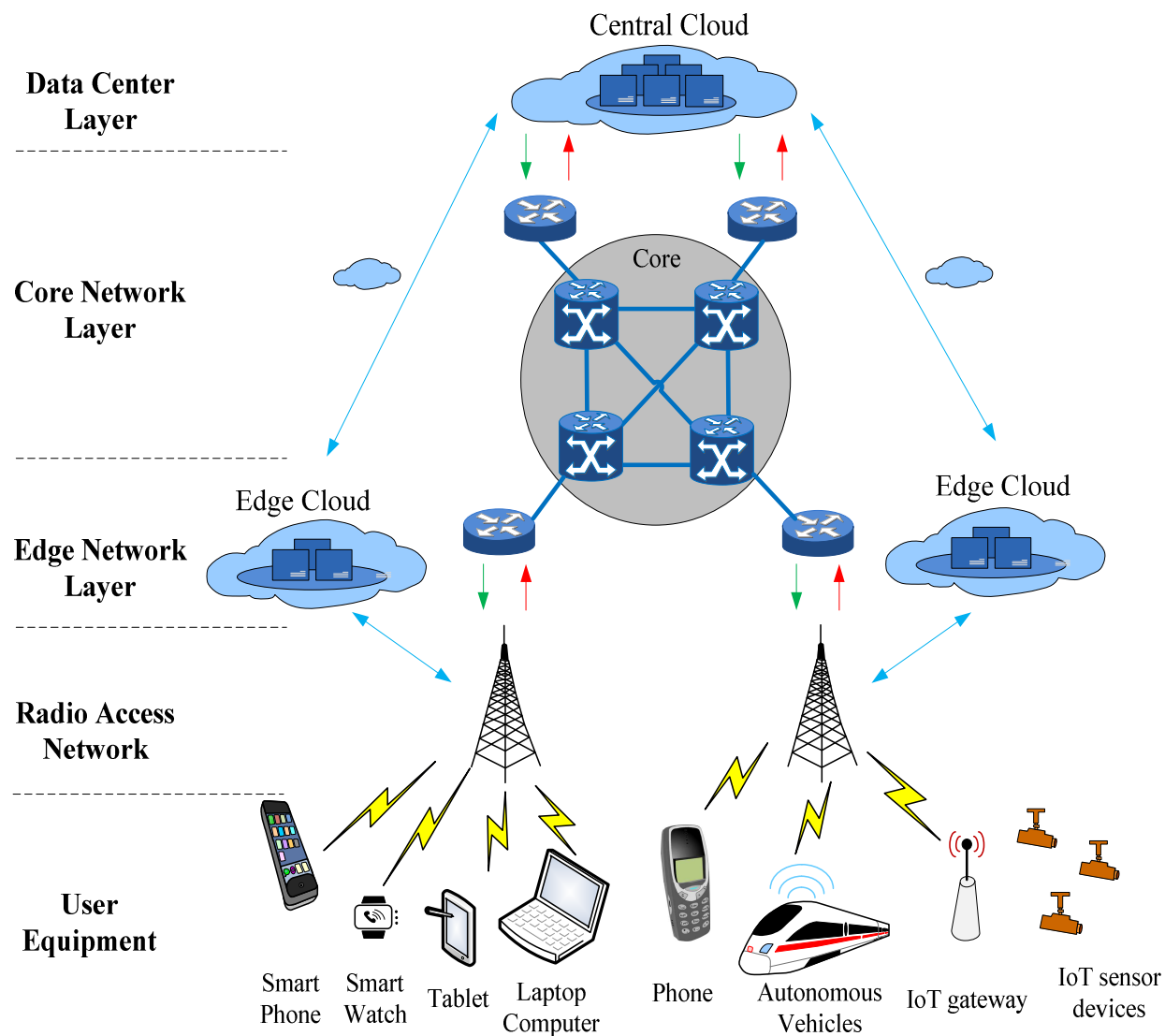
- * Mobilnost predajnika i/ili prijemnika
- * Čelijska struktura sistema
- * Ograničene emitovane snage na predaji



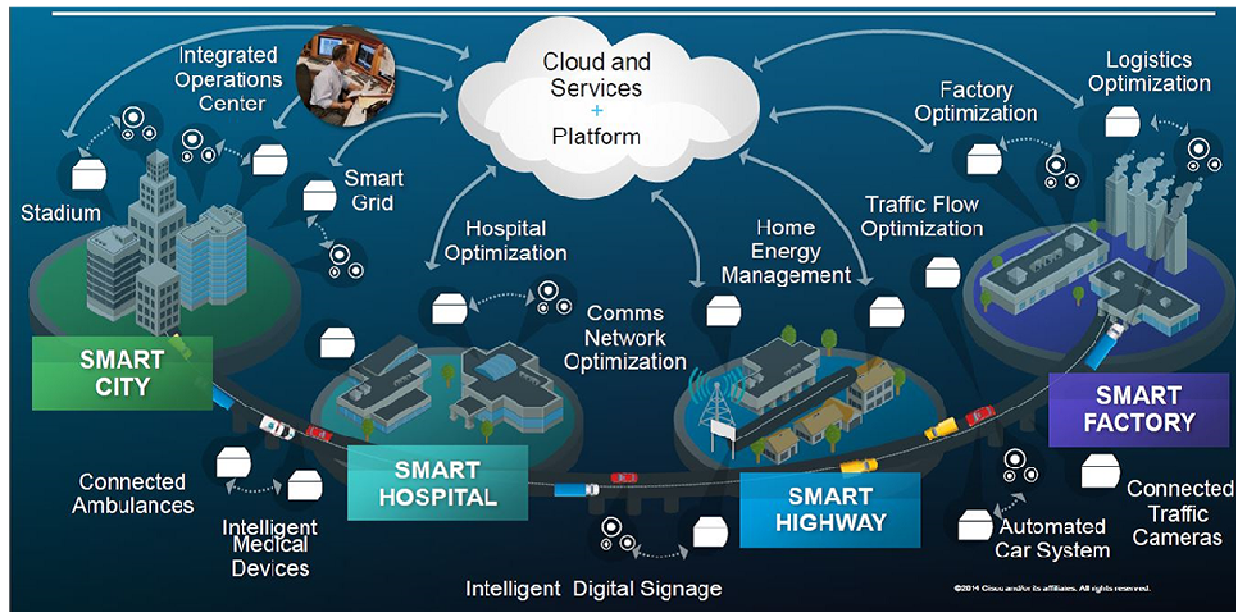
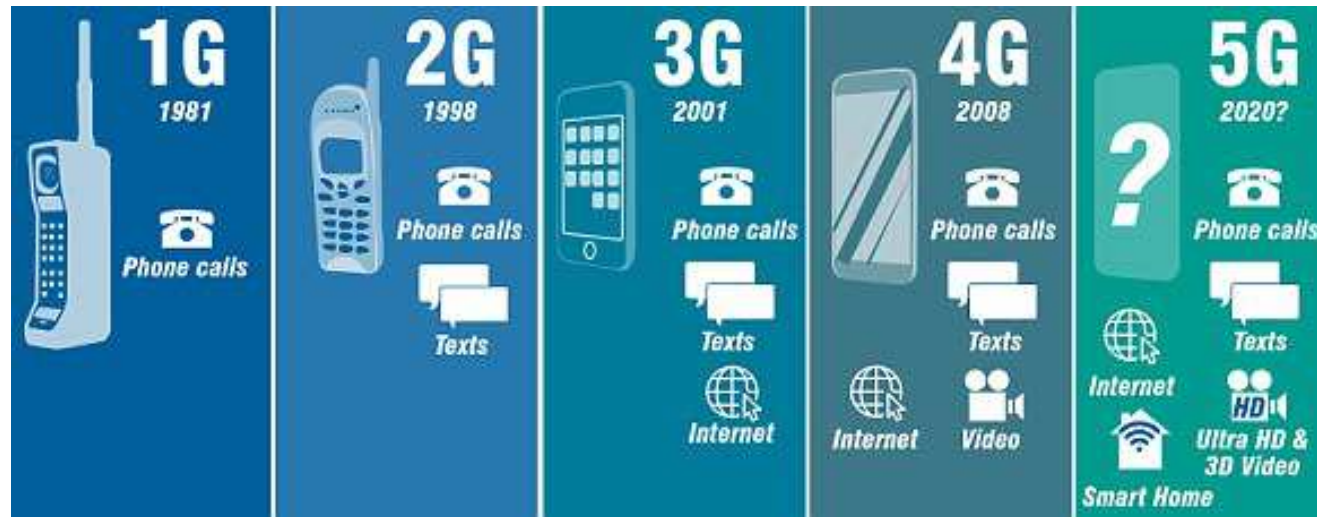
Eksponencijalni rast protoka podataka



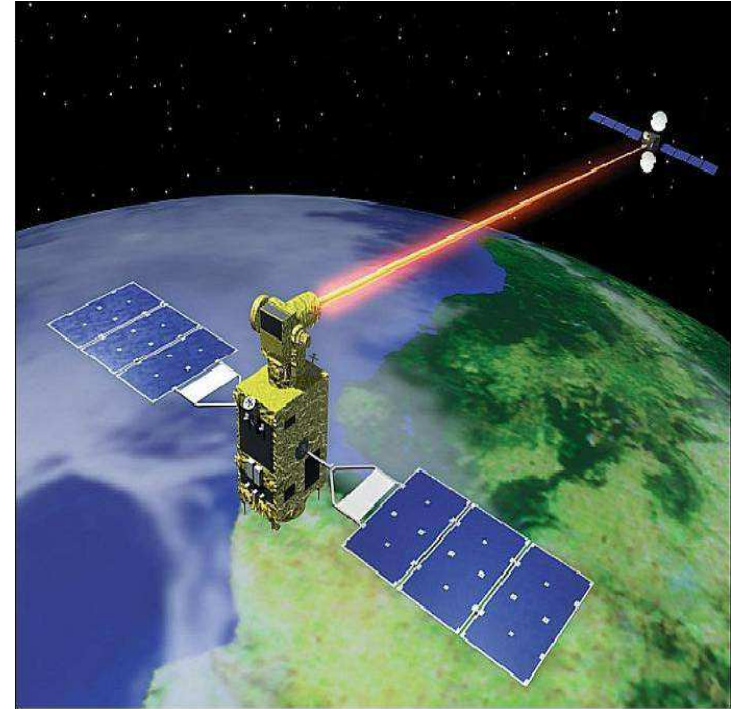
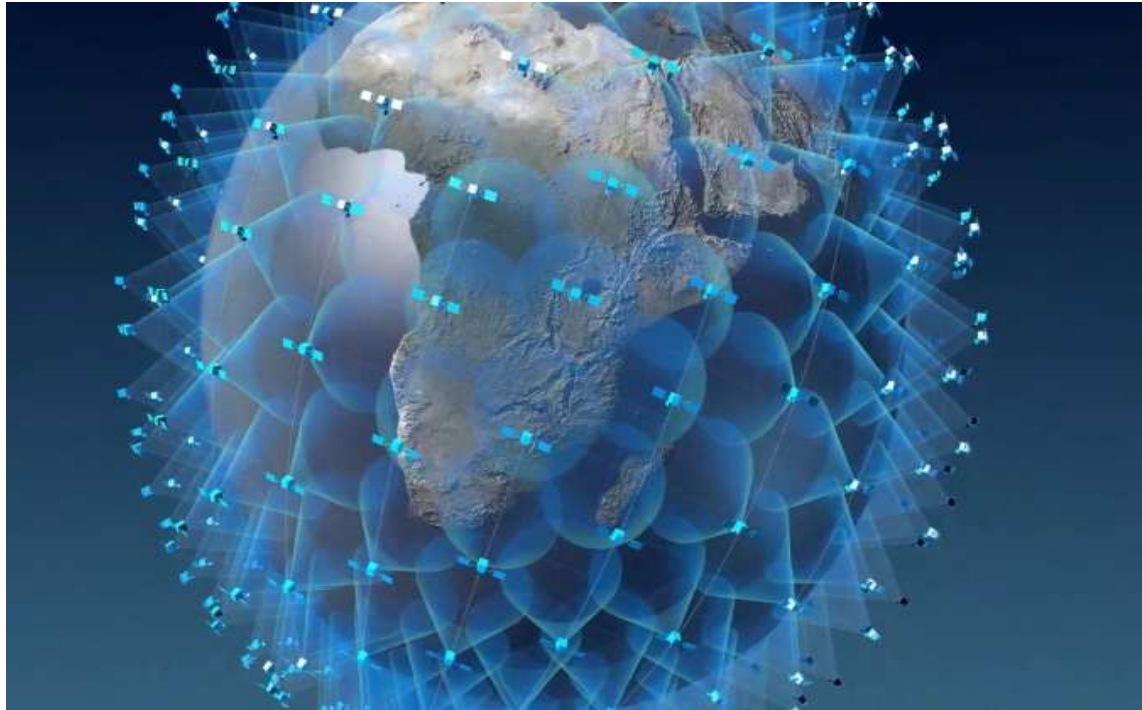
Savremeni mobilni sistemi i ICT



5G & Internet of Things



Internet preko satelita?



SPACEX

Future of
Internet is
orbital.

