



PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA

*Elektrotehnički fakultet
Katedra za telekomunikacije
Beograd, 2019/2020.*



Program predmeta i način polaganja

Nastavnici i organizacija rada

Predavanja i vežbe

Predrag Ivaniš (predrag.ivanis@etf.rs, Paviljon 2, desno od RC)

Vesna Blagojevic (vesna.golubovic@etf.rs, sala 109)

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

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

Laboratorijske vežbe

Laboratorija za telekomunikacije (soba 54)

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

Upoznavanje studenata sa mernim uređajima i pratećim softverom.

Kolokvijumi i domaći zadaci

* Kolokvijumi

- Prvi kolokvijum – količina informacija, entropija, kompresija podataka, zaštitni kodovi, teorija informacija i veštačka inteligencija, osnovi kriptografije.
- Drugi kolokvijum – spektar signala, prenos signala kroz linearni sistem, 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, 5G, ADSL, kablovski i optički pristup internetu, satelitski sistemi, IoT).
- Kolokvijumi određuju 70% poena ka osnovu kojih se formira ocena.

* Domaći zadaci (u toku semestra u kome se izvodi nastava)

- Rok za predaju svakog domaćeg zadatka je 30 dana.
- Redovni domaći zadaci određuju ukupno 30% poena.
- Moguće je uzeti jedan dodatni domaći zadatak, on se zadaje individualno i to isključivo na časovima predavanja

Laboratorijske vežbe

* Pravila:

- Radi se ukupno šest vežbi (3 ciklusa sa po 2 vežbe u svakom ciklusu).
- Za prisustvo na vežbi obavezan je praktikum.
- Na kraju vežbe dežurni asistent javno prihvata, odnosno ne prihvata rezultate vežbe. Smatra se da student čiji rezultati vežbe nisu prihvaćeni nije položio laboratorijsku vežbu. Student koji nije položio laboratorijsku vežbu može u terminu za nadoknadu da radi ponovo laboratorijsku vežbu.
- Ukoliko student nije u mogućnosti da se pojavi u dodeljenom terminu, može zameniti termin sa drugim studentom, a o tome ne mora da obavesti profesora ni asistenta.
- Ukoliko se student nije pojavio u prvobitno dodeljenom terminu i nije našao zamenu, blok vežbi može da se nadoknadi u terminu za nadoknade koji se organizuje na kraju ciklusa.
- Laboratorijske vežbe su predispitna obaveza
- Student koji nije uradio oba ciklusa vežbi ne može izaći na ispit
- Jednom urađene vežbe važe trajno (dok student ne položi ispit ili dok ne izgubi status studenta)

Organizacija ispita i ocenjivanje

- * Ukupna ocena dobija se zbirom ocena dobijenih na kolokvijumima i domaćim zadacima, odnosno:

$$\text{POENI} = \text{K1} + \text{K2} + \text{K3} + \text{DZ1} + \text{DZ2} + \text{DDZ}$$

- * **Ograničenja**

- $\text{K1} \leq 20, \text{K2} \leq 20, \text{K3} \leq 30$
- $\text{DZ1} \leq 15, \text{DZ2} \leq 15$
- $\text{DDZ} \leq 10$ (dodatni domaći zadatak, pod posebnim uslovima)
- K1 se može nadoknaditi u terminu K2 ili u januarском ispitnom roku (u terminu K3)
- K2 se može nadoknaditi u januarском ili februarском ispitnom roku
- Kolokvijumi (K1 i K2) traju po dva sata, ispit traje tri sata

- * **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

- I kolokvijum - paviljon II, prva vrata desno pre ulaza u Računski centar ETF-a.
- II i III kolokvijum - kabinet 109

* 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 dodati na listu
 - *Shared documents*:
 - Prezentacije sa predavanja i vežbi
 - Ispitni rokovi i rešeni zadaci sa kolokvijuma
 - Spiskovi za laboratorijske vežbe

Literatura

- [1] D. Drajić, P. Ivaniš, “*Uvod u teoriju informacija sa kodovanjem*”, 4. izdanje, Akademska misao, Beograd, 2018.
- [2] Dukić M, *Principi telekomunikacija*, Akademska misao, 2008, Beograd.
- [3] Haykin S., *Communication Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1998, New York.
- [4] Sklar B., *Digital Communications – Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [5] Dukić M, Marković G, Vujić D, *Principi telekomunikacija – Zbornik rešenih zadataka*, Akademska misao, 2009, Beograd.
- [6] Praktikum za laboratorijske vežbe
- [7] Materijali korišćeni pri izvođenju predavanja i vežbi.

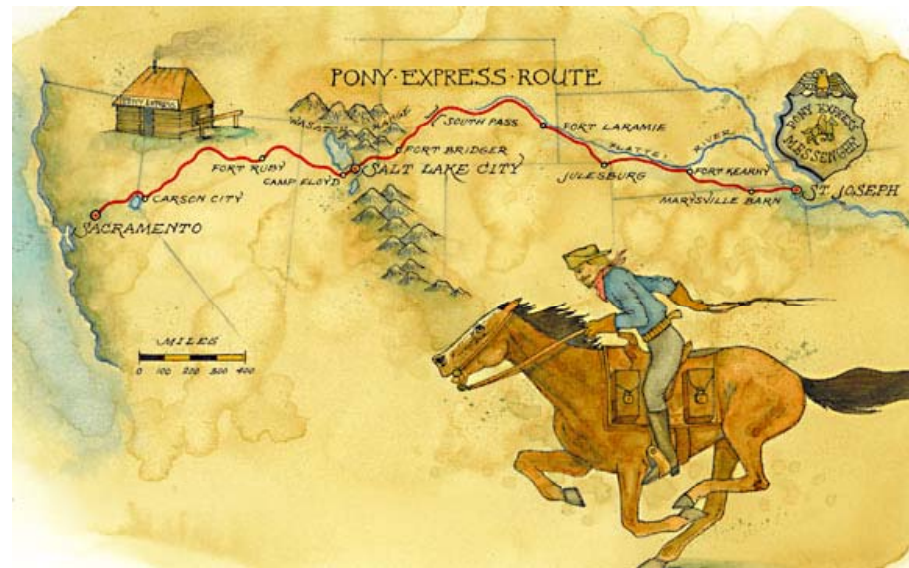
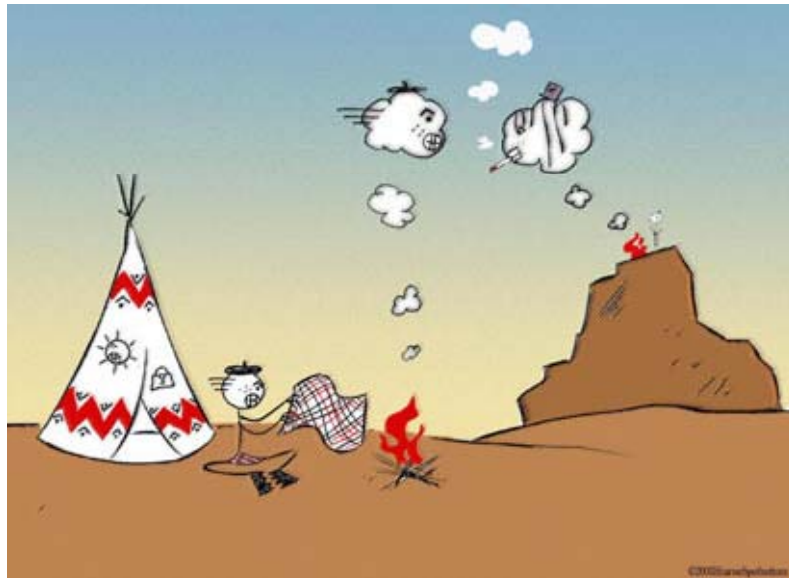


- I -
UVOD

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!);**

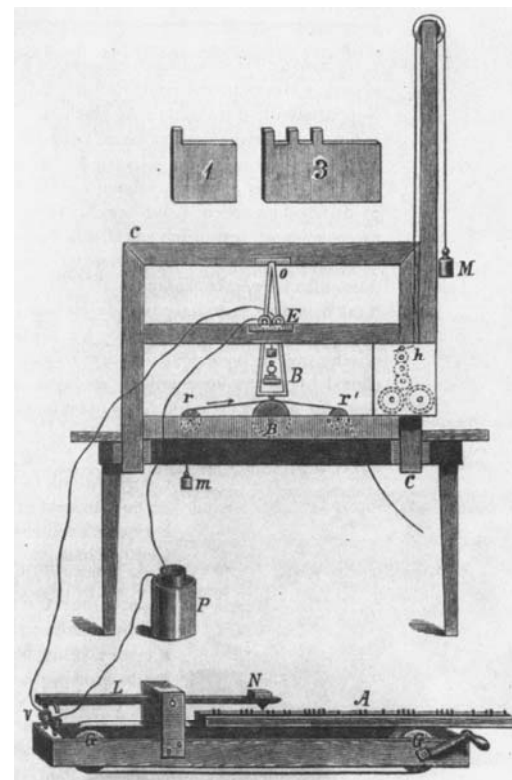
Prenos poruka između dve udaljene lokacije?



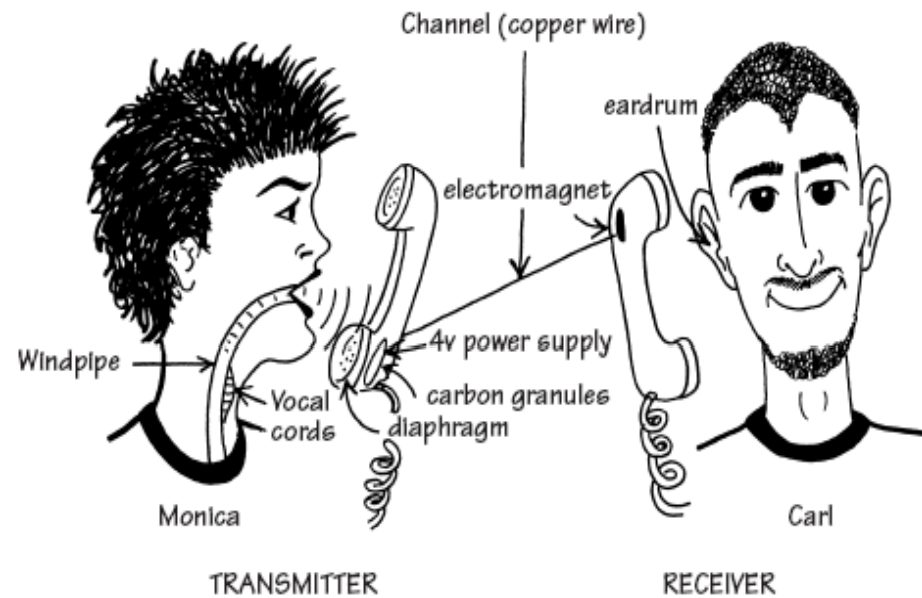
Prvi telekomunikacioni sistem?

* Električni telegraf:

- Semjuel Morze, 1837 je napravio elektromagnetni telegraf, pored toga je smislio releje, Morzeovu abuku...
- Uređaj je prvi put javno demonstriran 1838. godine. Prenos se obavljao pomoću jedne bakarne žice, pri čemu je maksimalan domet bio 3km.
- 1844. godine Morze poslao prvu telegrafsku poruku iz Vašingtona u Batlimor, Merilend. Rastojanje između ova dva grada je 61km, a ovaj domet je postignut primenom releja i ripitera.
- Prvi pokušaj prenosa informacije preko Atlantskog okeana zabeležen je 1857. godine, pri čemu je bilo potrebno 16 sati da se prenese 98 reči koje je Britanska kraljica Viktorija uputila tadašnjem predsedniku SAD, Džemu Bjukenenu. Prva uspešna veza 1866. godine (8 reči u minutu).
- Istočna i zapadna obala SAD povezane su telegrafom 1861. godine a prva veza preko Tihog okeana uspostavljena je 1902. godine.
- Na početku XX veka prenos podataka preko Atlantskog okeana obavljao se za desetak minuta.



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 signala kroz kanal dolazi do izobličenja signala usled nesavršenosti pri prenosu
- 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).

Kratak istorijat razvoja telekomunikacija

* Najbitniji događaji:

- Telegraf (Morze, 1838)
- Telefon (Bel, 1876)
- Povećanje dometa telegrafskih i telefonskih veza (Pupin, 1896)
- Elektromagnetni talasi (Maksvel 1861, Herc 1886)
- Radio kontrolisani brod, ideja svetske radio stanice (Tesla, 1894 i 1890)
- Transatlantski prenos uz pomoć bežične telegrafije (Markoni, 1901)
- Amplitudski modulisani radio prenos (Fesendren, 1906)
- Frekvencijski modulisani radio prenos (Armstrong, 1933)
- Prvi prenos TV signala (BC, 1936)
- Spektralna analiza slučajnih signala, filtriranje, radar (Viner, 1930-1945)
- Digitalna telefonija (Bell Labs, 1943)
- Mobilna telefonija (NMT 1981, GSM 1991, UMTS 2001, LTE 2009)
- Internet (ARPANET 1969, prelaz na TCP/IP 1983, potpuno komercijalan 1995)

* Posebno bitno:

- Najveća brzina prenosa telegrafskog signala kroz dati medijum? (Nikvist, 1928);
- Najveća brzina prenosa informacije kroz dati medijum? (Šenon, 1948);
- Kako se na najefikasniji način može digitalizovati analogni signal, a da se pritom ne izgubi informacija? (Koteljnikov 1933, Šenon 1949)

Internet – globalna informaciono-komunikaciona mreža

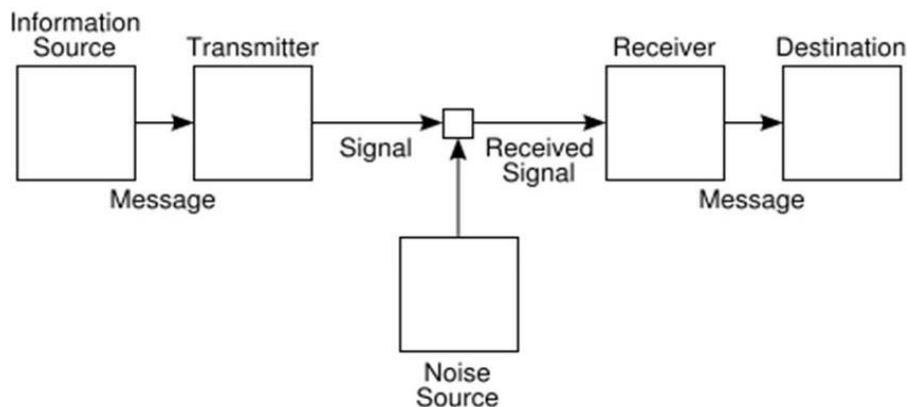


Šta je cilj?

- * 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.



Teorija informacija

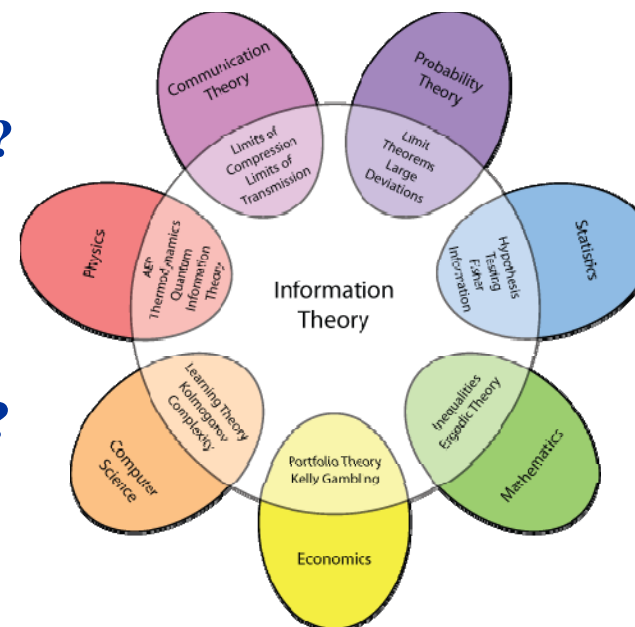


* Koji je minimalni broj simbola kojim se može predstaviti poruka, a da se ne izgubi informacija?

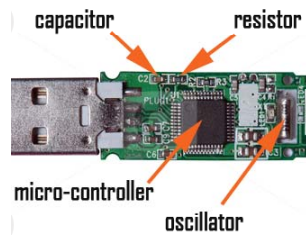
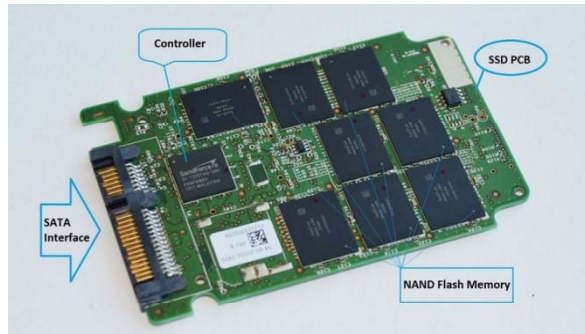
➤ Prva Šenonova teorema, bitna za kompresiju!

* 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)

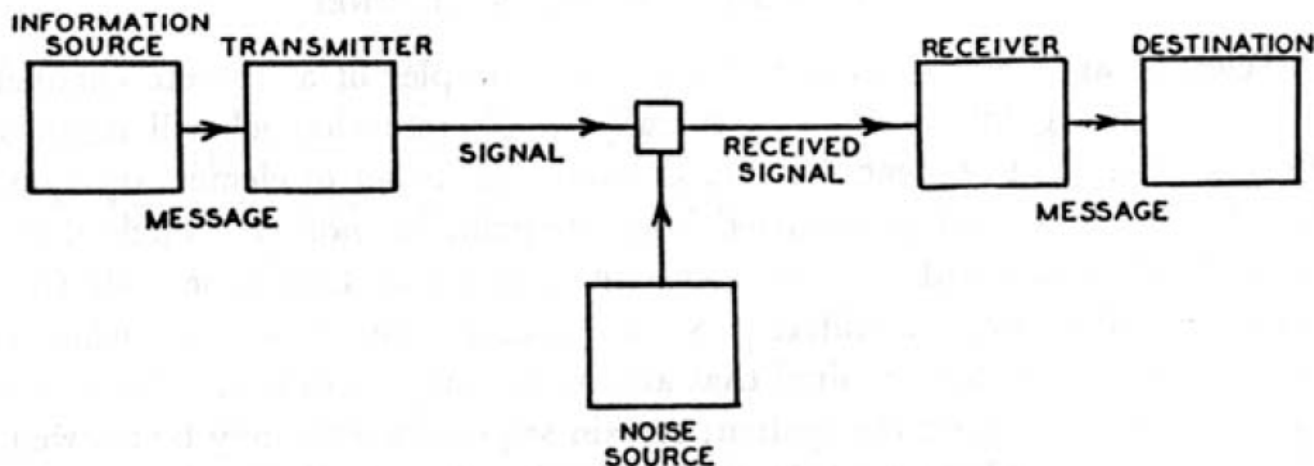


George Boole
(Algebra)

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

Pojednostavljena blok šema sistema

- * **Izvor** – emituje **poruku** u vidu niza simbola koji mogu uzeti vrednosti iz nekog konačnog skupa ili nekakav složeni signal koji u sebi sadrži informaciju.
- * **Predajnik** – pretvara informaciju sadržanu u simbolima izvora u pogodan oblik za prenos i obradu (digitalizacija, modulacija,...). Na izlazu predajnika informacija je sadržana u **emitovanom signalu** koji je često analogni (čak i kod digitalnih sistema prenosa!) i koji ima konačnu **snagu**.
- * **Kanal** – u njemu deluju šumovi i smetnje, a uvek postoje i nekakva ograničenja njegovih karakteristika (konačna **širina propusnog opsega**)
- * **Prijemnik** – cilj je da “izvuče” informaciju iz **primljenog signala** i dostavi je odredištu



Osnovni telekomunikacioni resursi

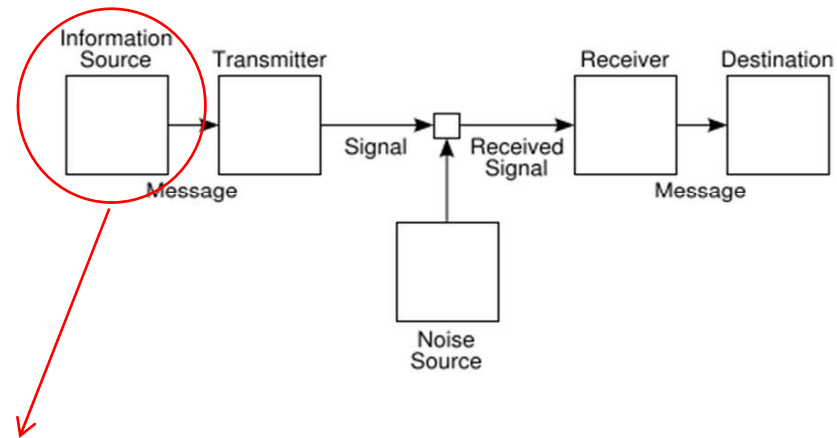
* Dva osnovna telekomunikaciona resursa:

- **Snaga emitovanog 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.

Izvor – karakteristike 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).

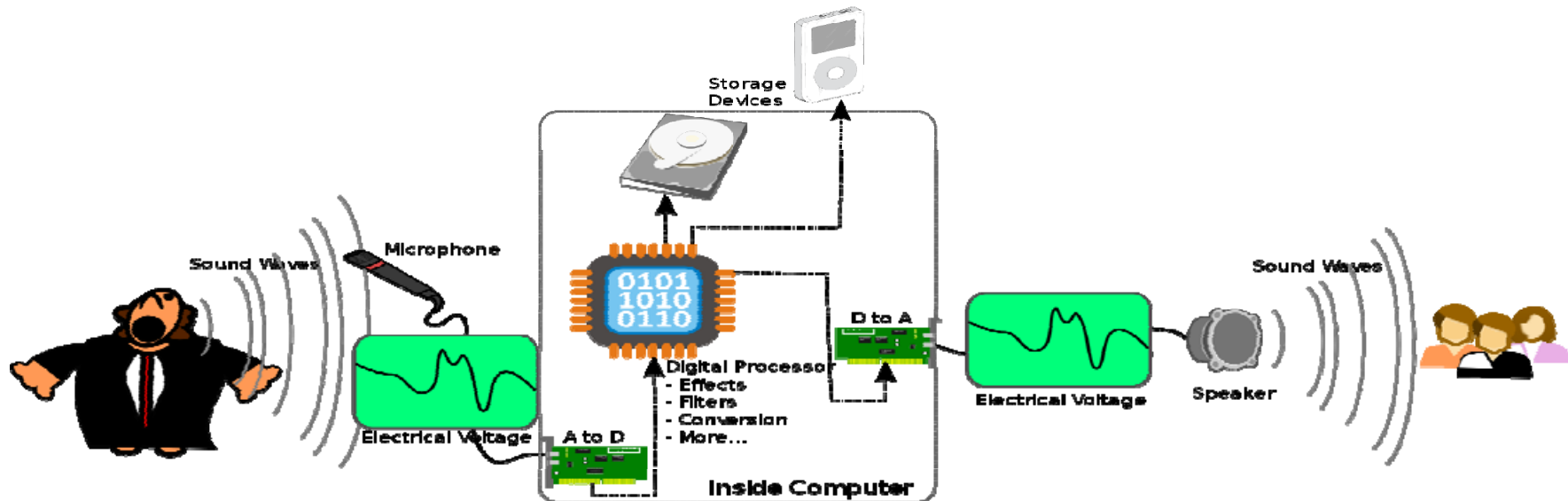
* Prema mogućim vrednostima amplitude (naponskim nivoima)

- **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
- **Slučajni** – oko njihove vrednosti u svakom trenutku postoji određena neizvesnost. Pri opisu ovakvih signala koriste se statistički modeli.

Diskretizacija i digitalizacija



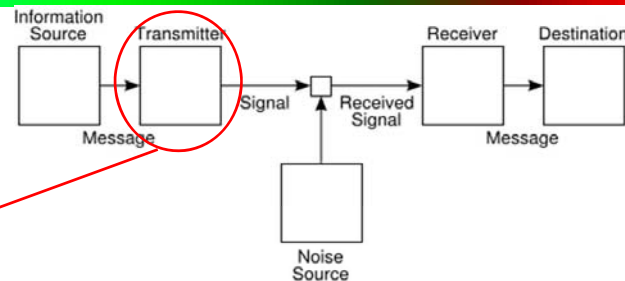
* Da li se kontinualni signal može predstaviti diskretnim signalom a da se ne izgubi informacija?

➤ 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?

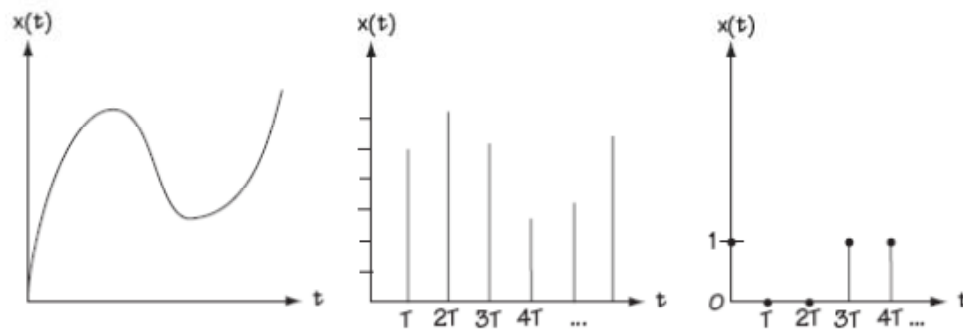
* Da li se više nezavisnih signala prenositi preko jednog fizičkog medijuma a da jedan drugom ne smeta (multipleksiranje)?

Kako se obavlja digitalizacija signala?



* 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 *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!).

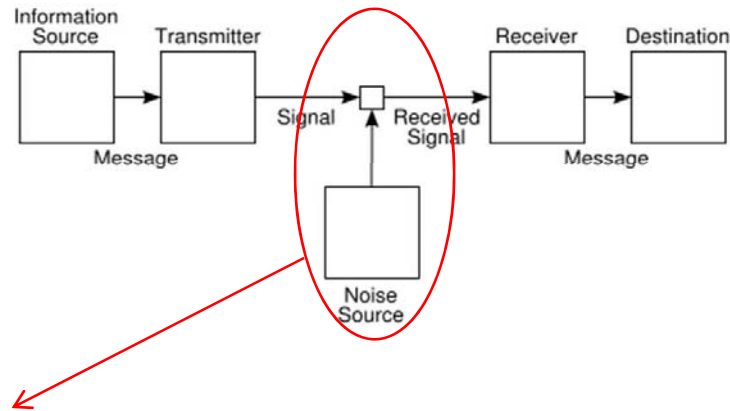


Kontinualni signal

Signal diskretan u vremenu

Digitalni signal

Opšte karakteristike kanala



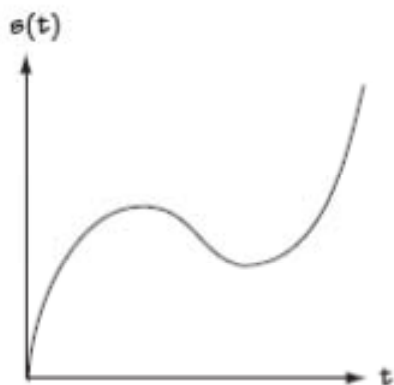
* Svaki kanal ima neke nedostatke

- Unosi **slabljenje** pri prenosu signala;
- Usled ograničenog propusnog opsega javlja se **izobličenje** poslatog signala. Izobličenja mogu nastati i kao posledica nelinearnosti;
- Javljaju se i **smetnje** nastale kao posledica rada uređaja, industrijske opreme ili su čak izazvane namerno.

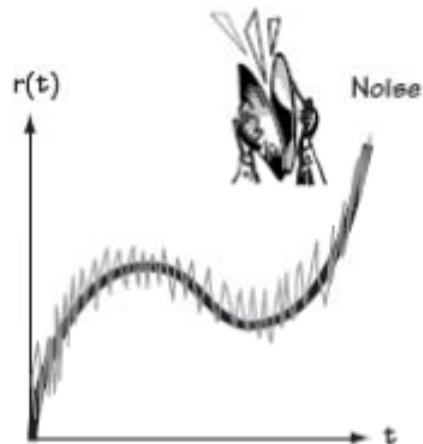
* U svakom telekomunikacionom kanalu postoji i **šum** nastao delovanjem

- Internih izvora šuma (termički šum nastao u samom kabl...);
- Eksternih izvora (brojni izvori radio-signalata slabe snage);
- Šum je tipičan primer slučajnog signala – ne može se opisati jednostavnom funkcijom!

Prenos analognih i digitalnih signala kroz kanal

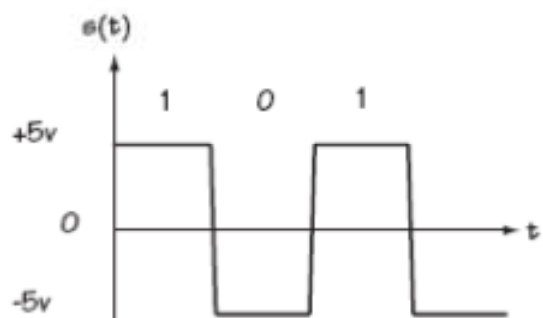


Poslati analogni signal

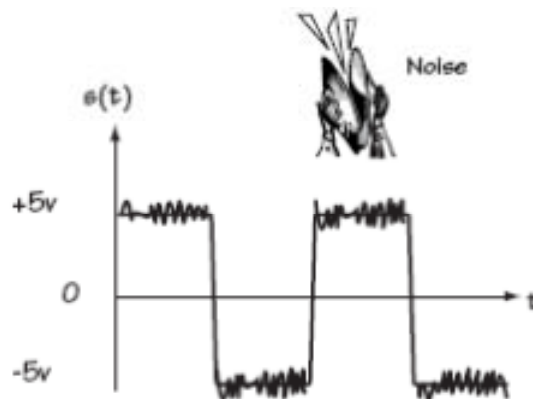


Primljeni analogni signal

Mera kvaliteta prenosa:
Odnos signal-šum (*signal-to-noise ratio, SNR*)



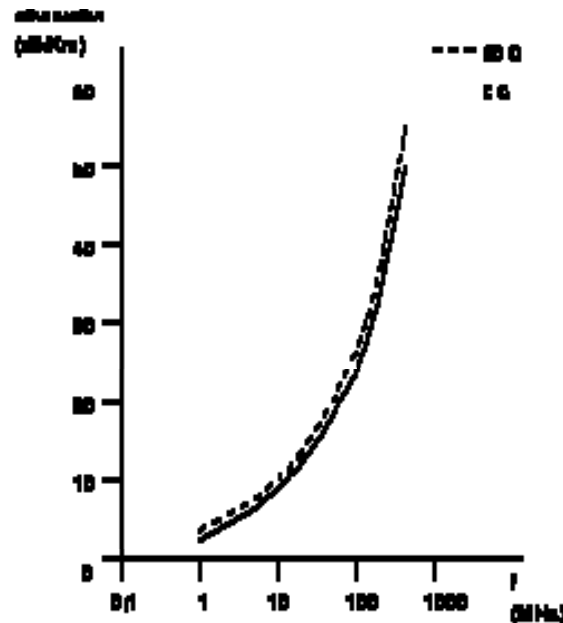
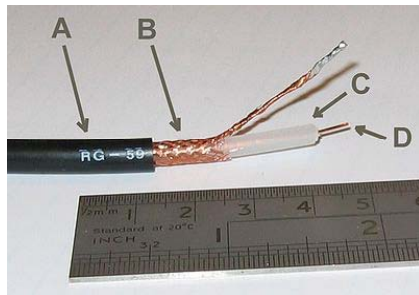
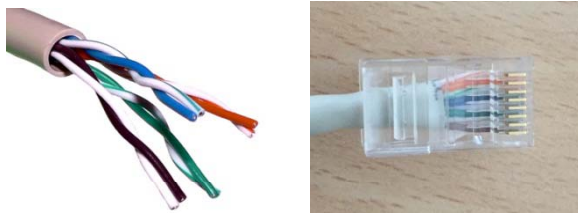
Poslati digitalni signal



Primljeni digitalni signal

Mera kvaliteta prenosa:
Verovatnoća greške po bitu (*bit error rate, BER*)

Prenos signala kroz žični medijum



*Elektrotehnički fakultet, Katedra za
telekomunikacije, Beograd*

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

Koasijalni kabl

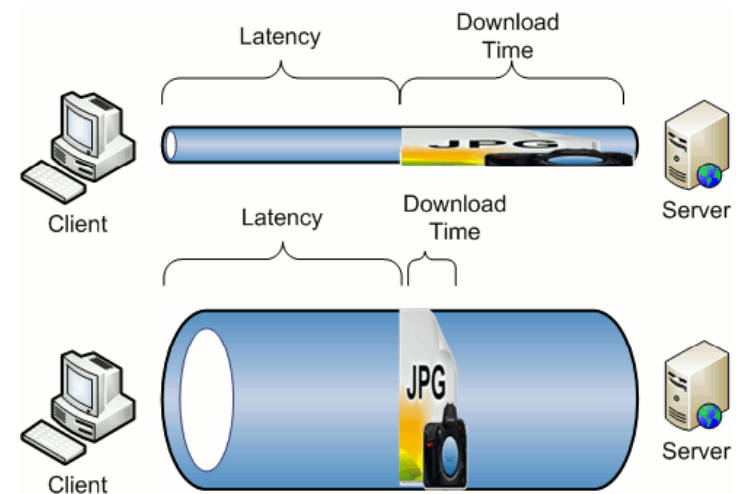
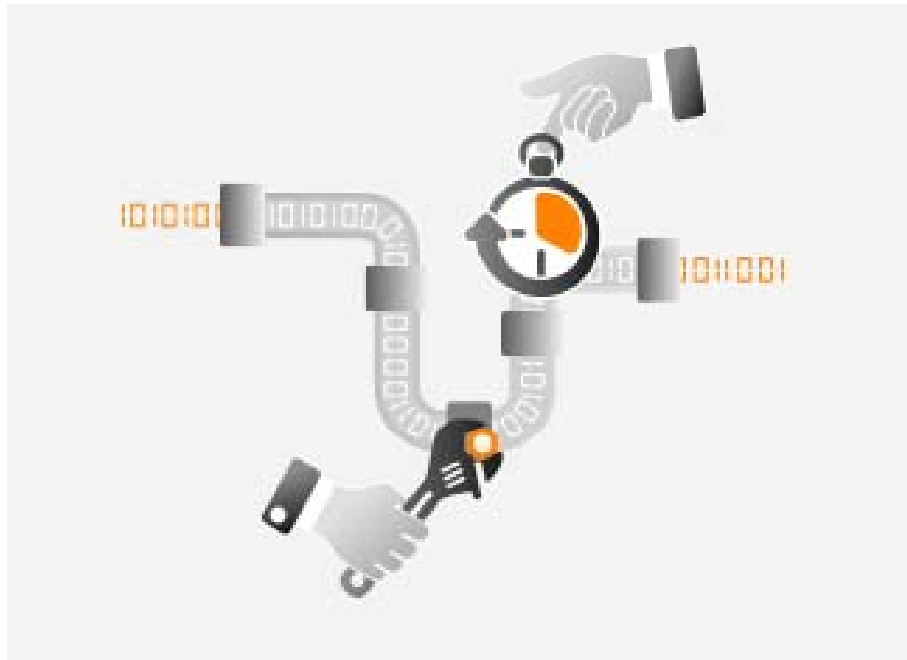
- Znatno manje vrednosi slabljenja
 - 10MHz – 10dB/km, 500MHz – 50dB/km.
- Veća cena kabla;
- Veća otpornost na zračenja;
- Na rastojanjima od nekoliko kilometara prenos reda Gb/s.

ŠIRINA PROPUSNOG OPSEGA!

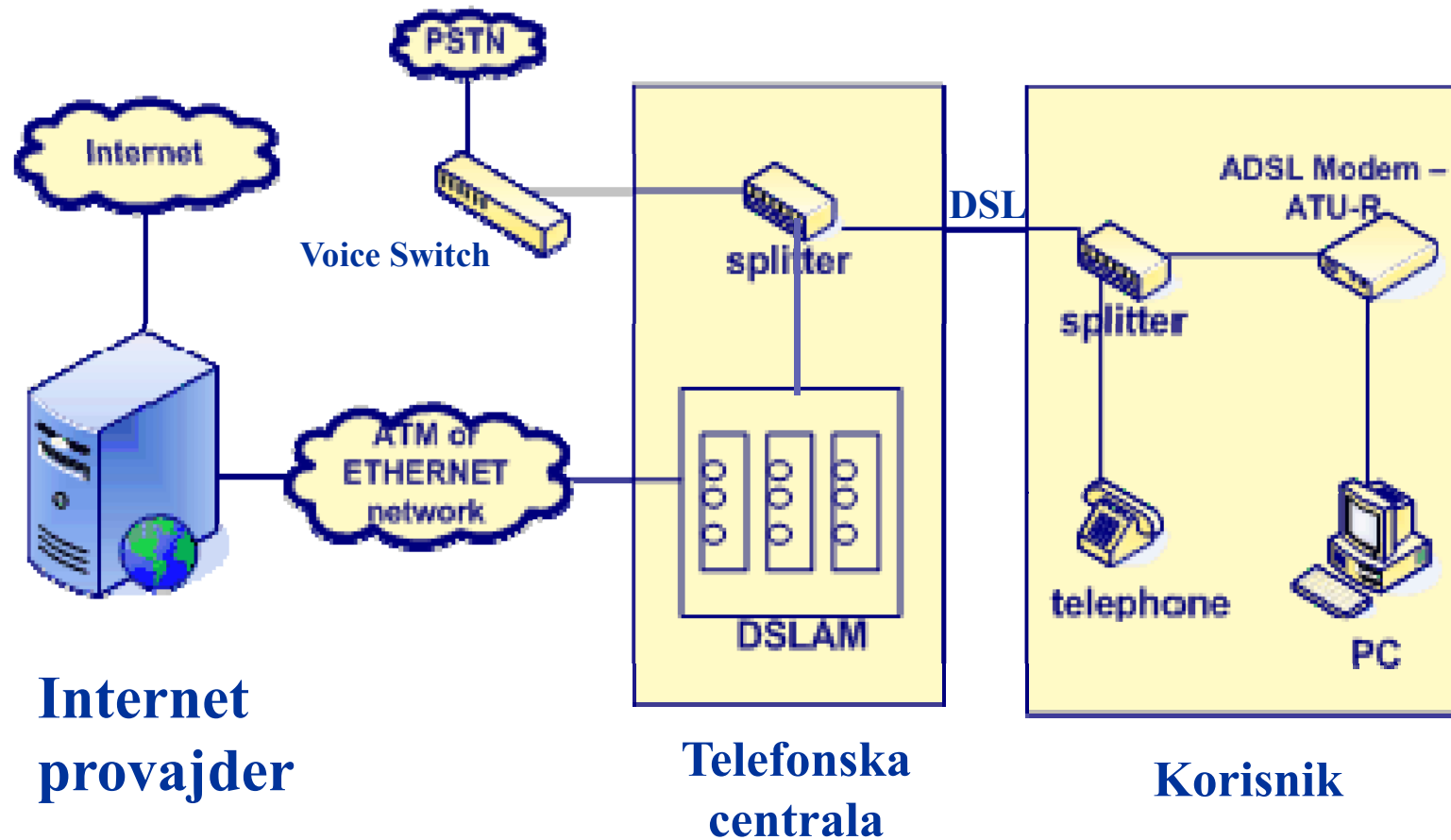
SPEKTAR SIGNALA, FURIJEOVA ANALIZA!

Propusni opseg i brzina signaliziranja?

Najveća brzina prenosa telegrafskog signala kroz dati medijum?
(Harry Nyquist, 1928)

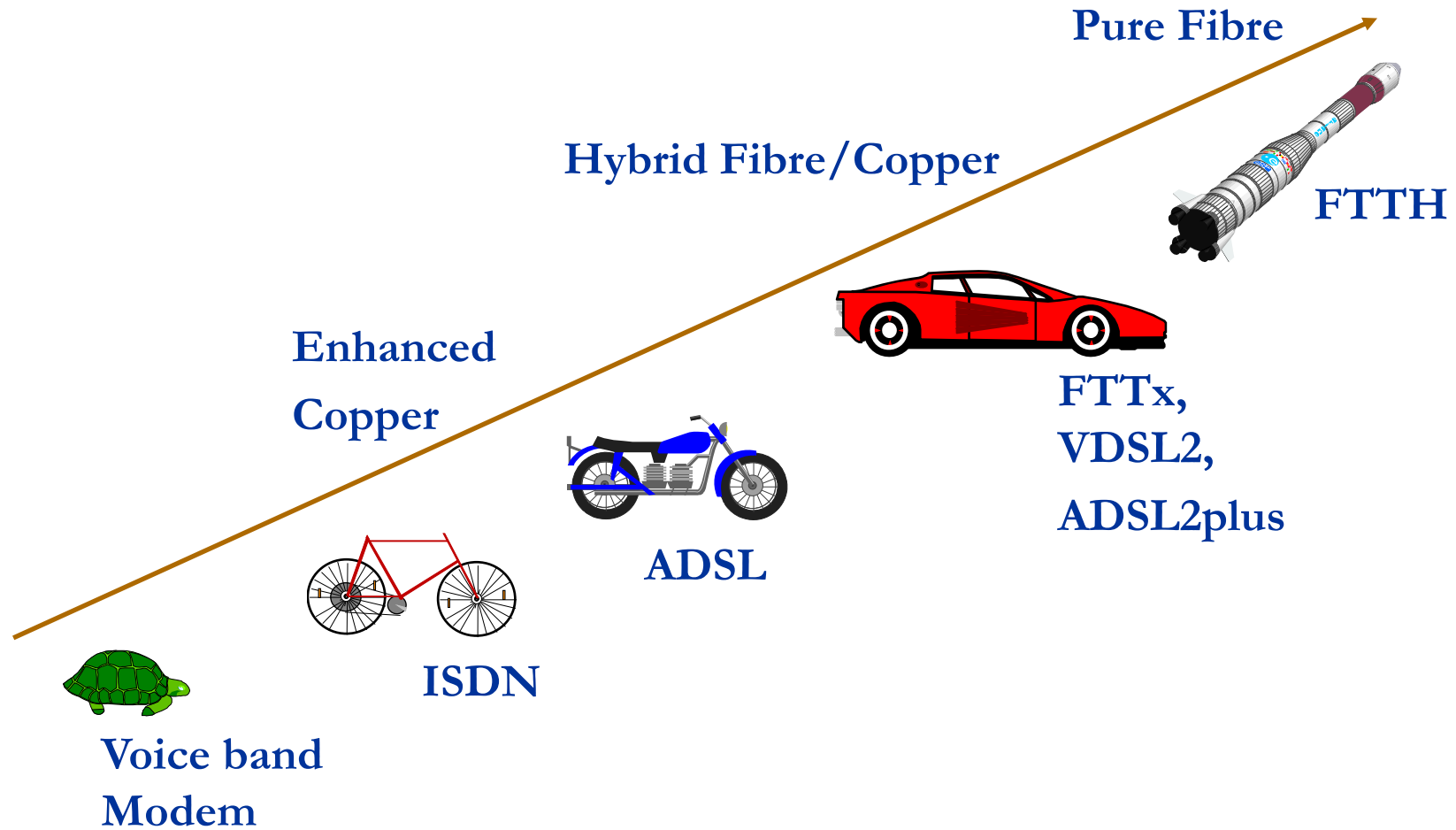


ADSL



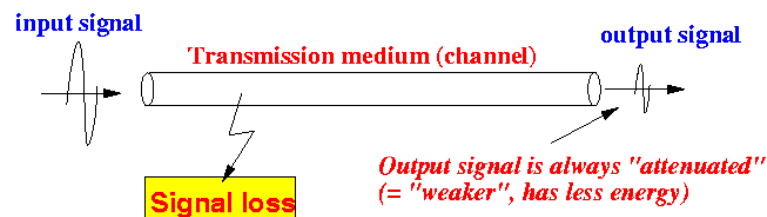
- ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
- PSTN - Public Switched Telephone Network
- DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer
- VDSL - Very high speed Digital Subscriber Line

Evolucija “žičnog” digitalnog pristupa



Prenos u slobodnom prostoru

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



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

Description	Frequency	Wavelength
High frequency	3 - 30MHz	100 - 10m
VHF	30 - 100MHz	3 - 3m
UHF	300 - 1000MHz	75 - 30cm
Microwaves	$3 \times 10^9 - 10^{11}$ Hz	10cm - 3mm
Millimetre waves	$10^{11} - 10^{15}$ Hz	3mm - 0.3mm
Infrared	$10^{13} - 3 \times 10^{14}$ Hz	0.3mm - 0.5µm
Light	$3 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$ Hz	0.5 µm - 0.4µm
Ultra-violet	$3 \times 10^{16} - 10^{17}$ Hz	0.4µm - 10^{-8} m
X-rays	$10^{17} - 10^{19}$ Hz	10^{-8} m - 10^{-12} m
Gamma rays	$> 10^{19}$ Hz	$< 10^{-12}$ m

Bežične lokalne mreže (WiFi)

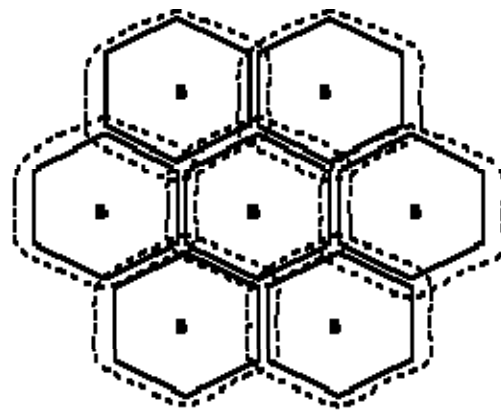
* WLAN – *Wireless Local Area Network*

- poznati i kao WiFi sistemi
- rade na nelicenciranim opsezima 2.4GHz i 5GHz
- standard IEEE 802.11n predviđa protok i do 200 Mb/s;

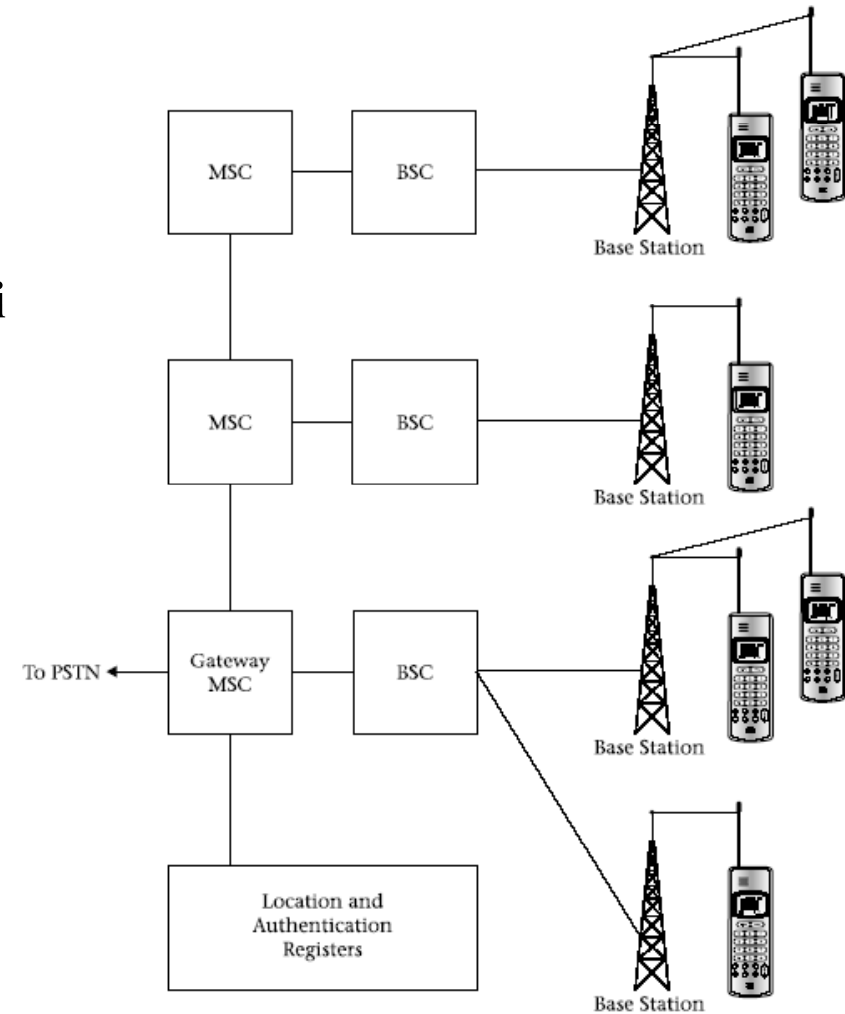


Mobilni radio sistemi (GSM, UMTS, LTE)

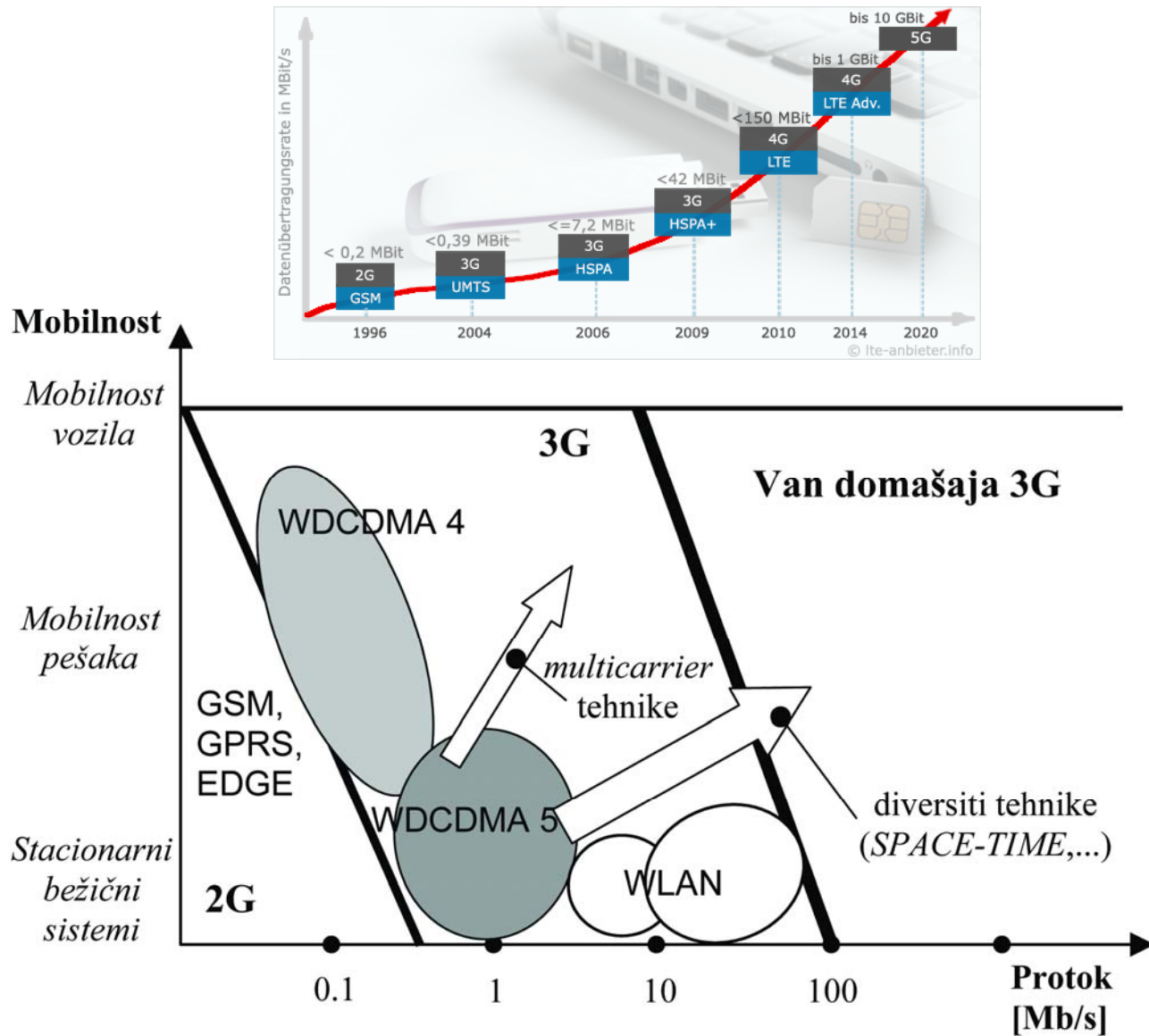
- * Mobilnost predajnika i/ili prijemnika
- * Čelijska struktura sistema, frekvencijsko planiranje
- * Višestruka propagacija signala
- * Ograničene emitovane snage na predaji
- * Potreba korisnika za sve bržim prenosom podataka



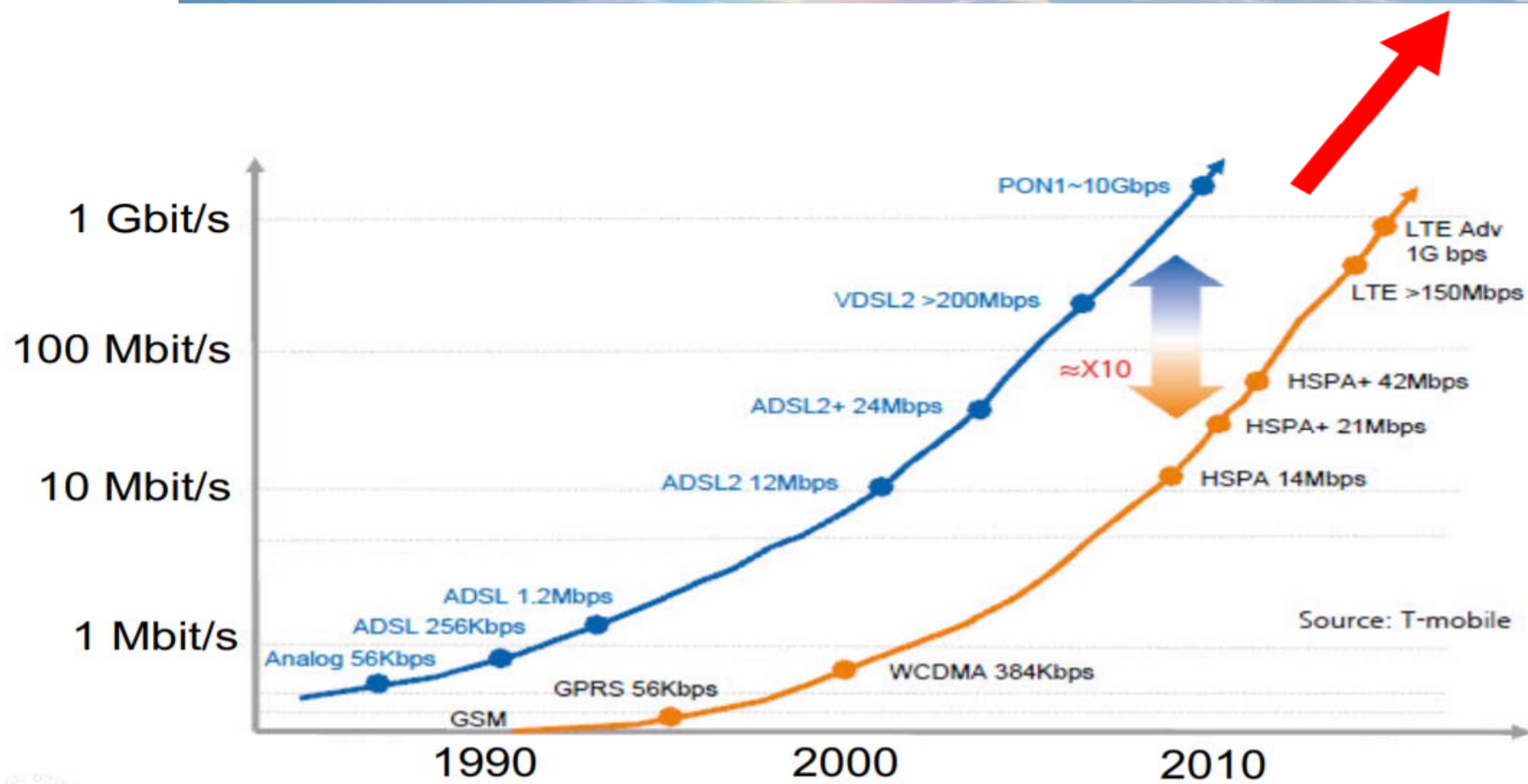
■ base station
— ideal cell coverage
- - - actual radio coverage



Kakvi treba da budu savremeni bežični sistemi?



Eksponencijalni rast protoka podataka



Prenos podataka – kojih, koliko i kako?

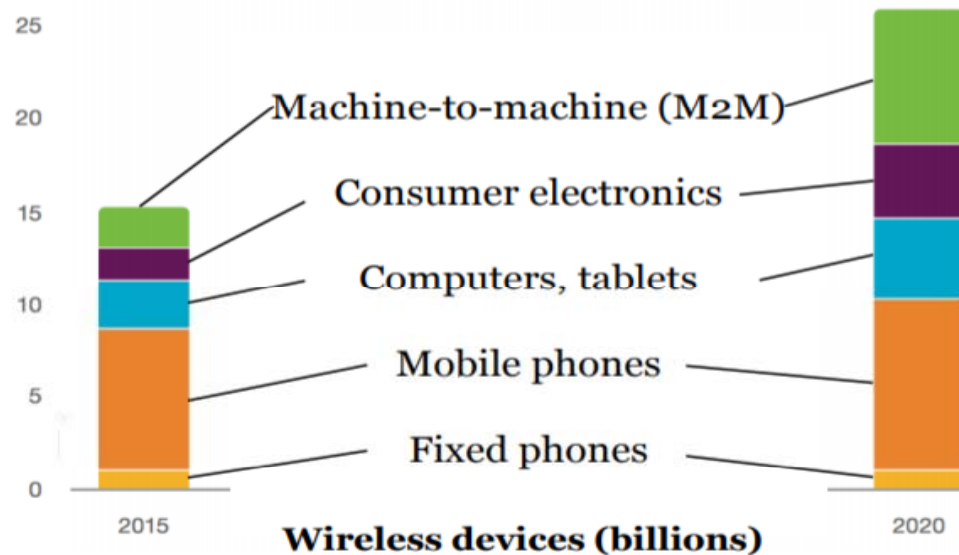
Everyday applications



Mobile broadband
- exponential traffic growth!
(data rates, availability, licensed spectrum, energy consumption)

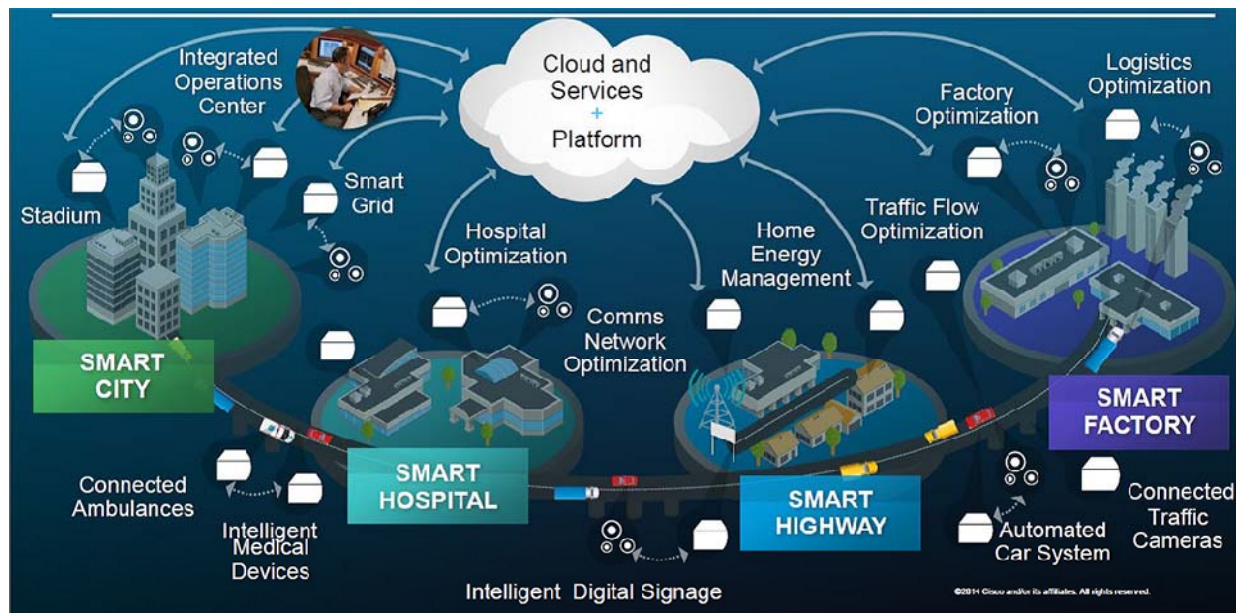
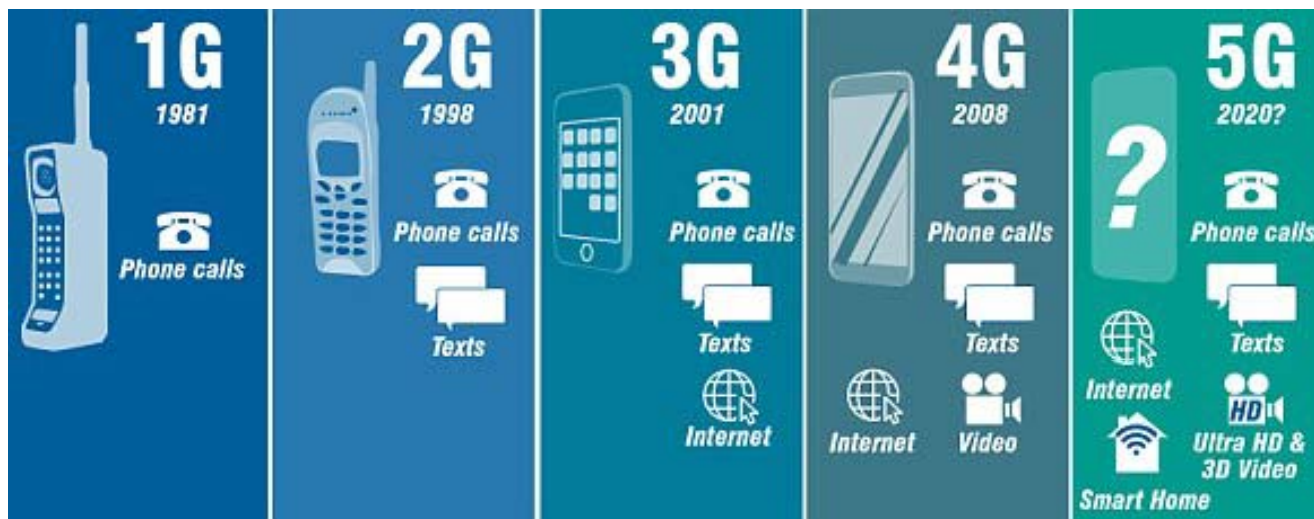


Internet (data packets, QoS)
250 Tbit/s; 3.3 billion users;
streaming 60%, web 30%,
file sharing 10%

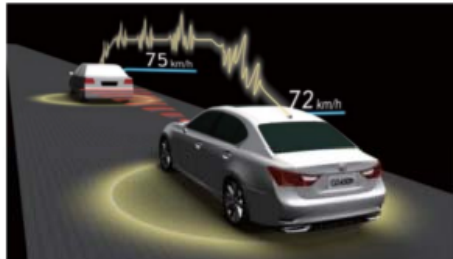


WiFi (data rates,
unlicensed spectrum,
energy efficient transceivers)

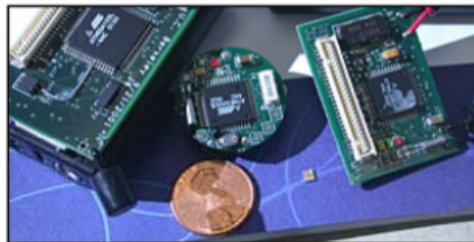
5G



Novi izazovi i aplikacije



**Mreža autonomnih vozila
(ekstremna robustnost, kašnjenje)**



**Senzorske mreže (energy
harvesting)**

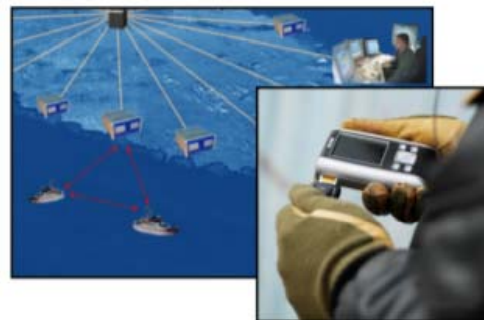


**Baze podataka (big data,
korekcija grešaka)**

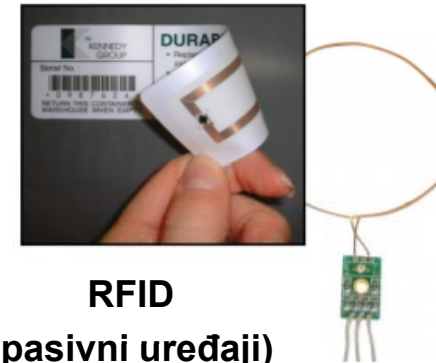
*Elektrotehnički fakultet, Katedra za
telekomunikacije, Beograd*



**Industrijski IoT
(kašnjenje)**



**Komunikacije javne bezbednosti
(enkripcija)**



**RFID
(pasivni uređaji)**



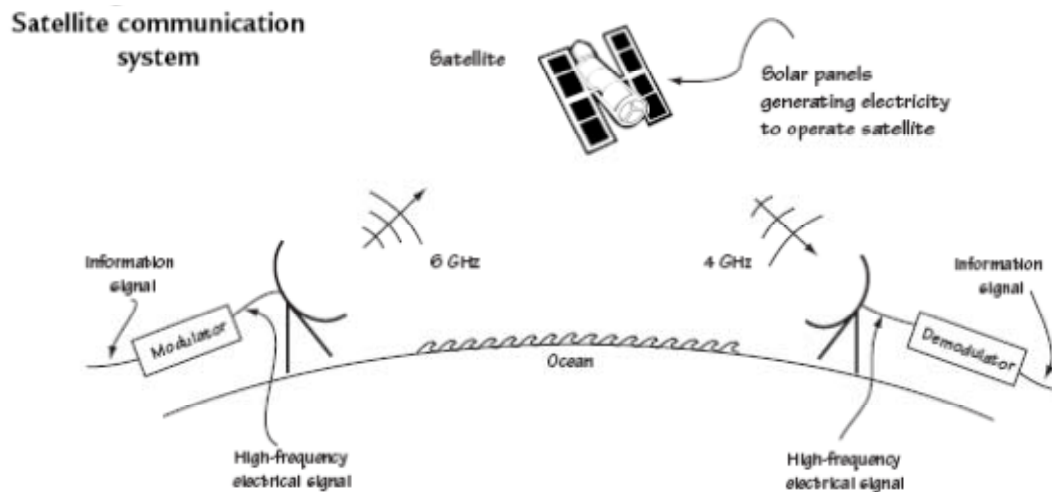
**Pozicioniranje
(outdoor, indoor)**



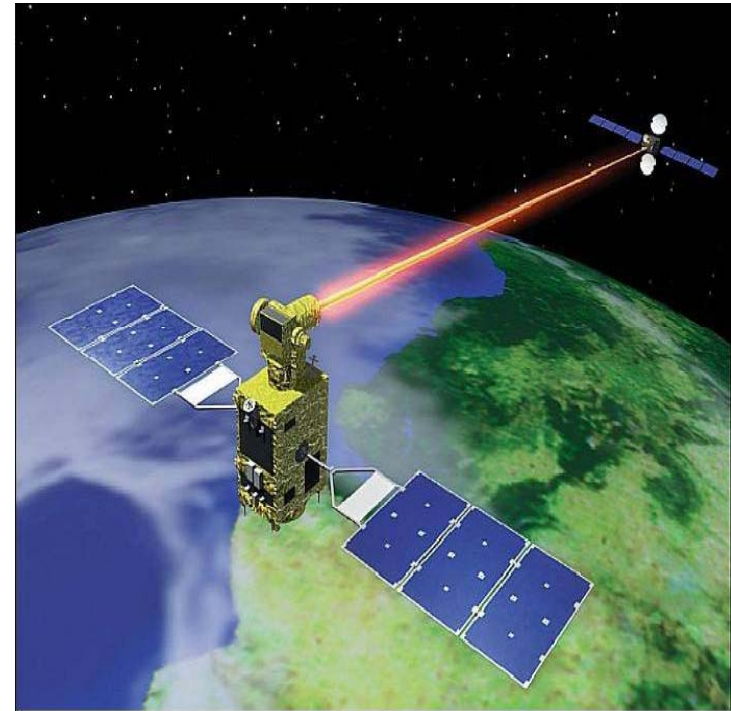
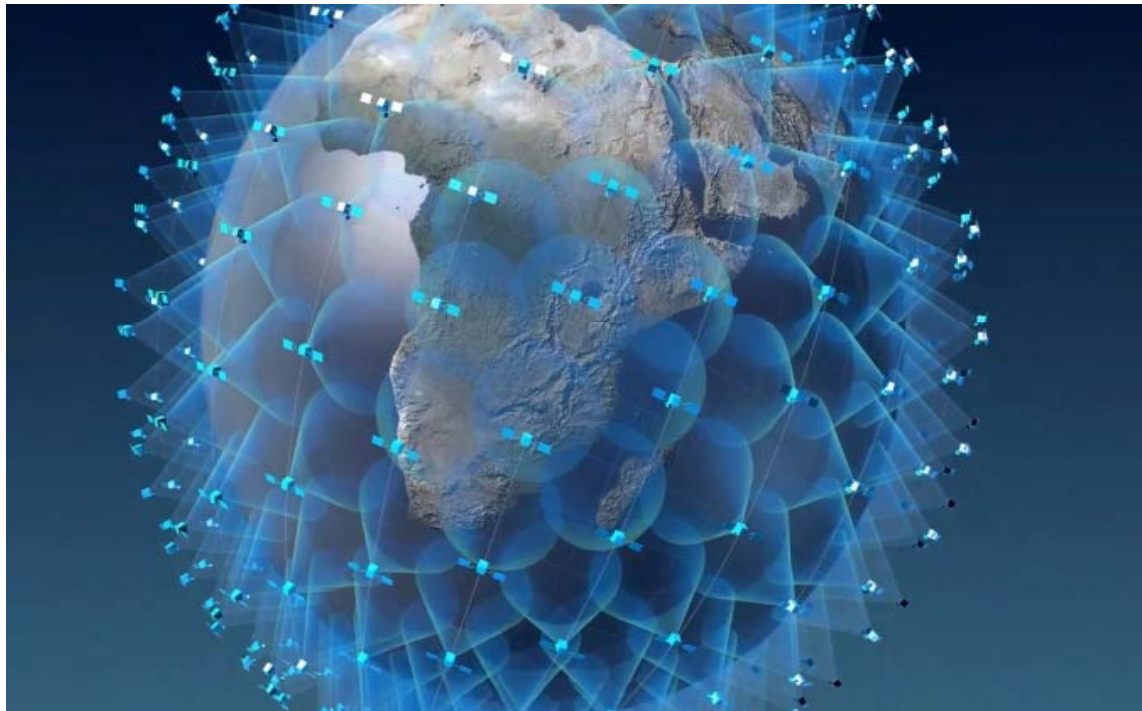
**Sateliti i
duboki
svemir**

Moguće rešenje za 6G?

- * Nedostupne lokacije nemaju alternativne mogućnosti pokrivanja
- * GEO (*Geostationary orbit, 36000km*)
 - Velike oblasti pokrivanja, pouzdane veze, širok opseg frekvencija
 - *Digital Video Broadcasting - DVB-S, DVB-S2*
- * LEO – satelitski mobilni sistemi (*Iridijum, Globestar*).
 - Facebook – internet iz svemira (Afrika, okeani, ...)



Internet preko satelita?



SPACEX

Future of
Internet is
orbital.

