



PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA (SI2PMT)

*Elektrotehnički fakultet
Katedra za Telekomunikacije
Beograd, 2012/2013.*



Program predmeta i način polaganja

Nastavnici i organizacija rada

Predavanja – ponedeljak 18-20h, sala 309

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

U okviru predavanja studenti se upoznaju sa teorijskim osnovama i primenama osnovnih tehnika analogne i digitalne obrade i prenosa telekomunikacionih signala – 2 časa nedeljno.

Vežbe – sreda 18-20h, sala 309

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

Računske vežbe razmatraju konkretne probleme izloženih tehnika i metoda obrade signala. Dodatno objašnjavanje izloženog gradiva kroz konkretne primere – 2 časa nedeljno.

Laboratorijske vežbe – lab. za telekomunikacije (laboratorija 54)

Upoznavanje studenata sa mernim uređajima i programima koji se koriste u praksi. Ilustracija teorijskih razmatranja sa predavanja i vežbi – 1 čas nedeljno.

Kolokvijumi i domaći zadaci

* Kolokvijumi

- Prvi kolokvijum – blok šema sistema, kompresija podataka, tehnike kontrole grešaka, spektar signala, linearni sistemi, slučajni procesi;
- Drugi kolokvijum – analogni modulacioni postupci, frekvencijski multipleks (FDM), impulsne modulacije, teorema o odabiranju impulsna kodna modulacija, vremenski multipleks (TDM);
- Treći kolokvijum – prenos digitalnog signala, digitalni modulacioni postupci, osnovi kriptografije.
- Svaki kolokvijum određuje 20% konačne ocene (ukupno 60%).

* Četiri domaća zadatka u toku semestra

- Rok za predaju svakog domaćeg zadatka je 30 dana.
- Svaki domaći zadatak određuje 10% konačne ocene (ukupno 40%).

Kolokvijumi

- * **Ukupno tri kolokvijuma tokom semestra.**
- * **Struktura prva dva kolokvijuma:**
 - **PITANJA**
Provera teorijskog znanja sa 3 teoretska pitanja (svako pitanje 10 poena).
 - **ZADACI**
Tri kratka računski zadatci (svaki zadatak 10 poena).
 - **Broj poena osvojenih na kolokvijumima računa se pomoću formule**
$$K=[P1+P2+P3+Z1+Z2+Z3]/6$$
 - **Kolokvijumi i domaći zadaci urađeni u jednoj školskoj godini važe zaključno do oktobarskog ispitnog roka iste školske godine.**

Završni ispit (treći kolokvijum)

* Struktura završnog ispita

- Prvo pitanje i prvi zadatak odgovaraju gradivu sa prvog kolokvijuma – ovo rade samo studenti koji nisu radili prvi kolokvijum ili žele da poprave ocenu iz ovog dela gradiva.
- Drugo pitanje i drugi zadatak odgovaraju gradivu sa drugog kolokvijuma – ovo rade samo studenti koji nisu radili prvi kolokvijum ili žele da poprave ocenu iz ovog dela gradiva.
- Treće pitanje i treći zadatak predstavljaju treći kolokvijum – ovaj deo rade svi studenti.
- Ukoliko niste radili prva dva kolokvijuma ili ne želite da vam se priznaju poeni sa njih potrebno je da:
 - Na završnom ispitu radite sva pitanja i zadatke iz onih oblasti koje želite da vam se buduju.
 - Naglasite na koricama vežbanke ako ste radili kolokvijum ali ne želite da se on prizna.
 - Nije moguće da se sa kolokvijuma prizna zadatak a ne prizna teorija, i obrnuto.

Organizacija ispita i ocenjivanje

- * Ukupna ocena dobija se kao srednja vrednost ocena dobijenih na pitanjima, zadacima i na test pitanjima korišćenjem težinskih koeficijenata, odnosno:

$$\text{OCENA} = 0.2 * K1 + 0.2 * K2 + 0.2 * K3 + 0.1 * DZ1 \\ + 0.1 * DZ2 + 0.1 * DZ3 + 0.1 * DZ4$$

USLOVI : 1. $\text{OCENA} > 5.0$
2. $(K1 + K2 + K3) / 3 \geq 4.0$

- Da bi se položio ispit morate osvojiti:
 - bar 40% od maksimalnog broja poena na kolokvijumima
 - navedeni uslovi se odnose na tri kolokvijuma u zbiru, tj. moguće je da na jednom kolokvijumu imate 0 poena a na preostala dva po 80% na teoriji i 80% na zadacima i da položite ispit ako imate urađene sve domaće zadatke.

Organizacija ispita i ocenjivanje

* Konsultacije

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

* Informacije

- Prezentacije sa predavanja, termini za laboratorijske vežbe, tekstovi domaćih zadataka, rešenja i rezultati kolokvijuma,...
- Način komunikacije:
 - Preko mailing liste – <https://lists.etf.rs/wws/info/si2pmt>.
ili
 - Preko mailing liste koju organizuju sami studenti.

Laboratorijske vežbe

* Organizacija vežbi:

- Radi se ukupno šest vežbi (2 ciklusa sa po 3 vežbe u svakom ciklusu).
- Ciklus od tri vežbe radi se u jednom terminu (u toku istog dana).
- Za prisustvo na vežbi obavezan je praktikum.
- Pre izrade svake od vežbi ne radi se nikakav test (za razliku od svih drugih smerova na fakultetu, gde je ovo obavezno).
- 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.
- Jedna vežba u svakom ciklusu može da se ne uradi a da vežbe budu priznate.
- U slučaju da nisu urađene ili nisu priznate dve ili tri vežbe u jednom ciklusu, student gubi pravo da radi preostale vežbe i polaže ispit u toku tekuće školske godine (laboratorijske vežbe su predispitna obaveza!).

Literatura

- [1] Dukić M, *Principi telekomunikacija*, Akademski misao, 2008, Beograd.
- [2] Haykin S., *Communication Systems*, John Wiley & Sons, Inc, 1998, New York.
- [3] Sklar B., *Digital Communications – Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [4] Stojanović Z, Dukić M, Petrović Z, Dobrosavljević Z, *Osnovi telekomunikacija – Zbornik rešenih problema*, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 1998, Beograd.
- [5] Praktikum za laboratorijske vežbe
- [6] Materijali korišćeni pri izvođenju predavanja i vežbi.



UVOD

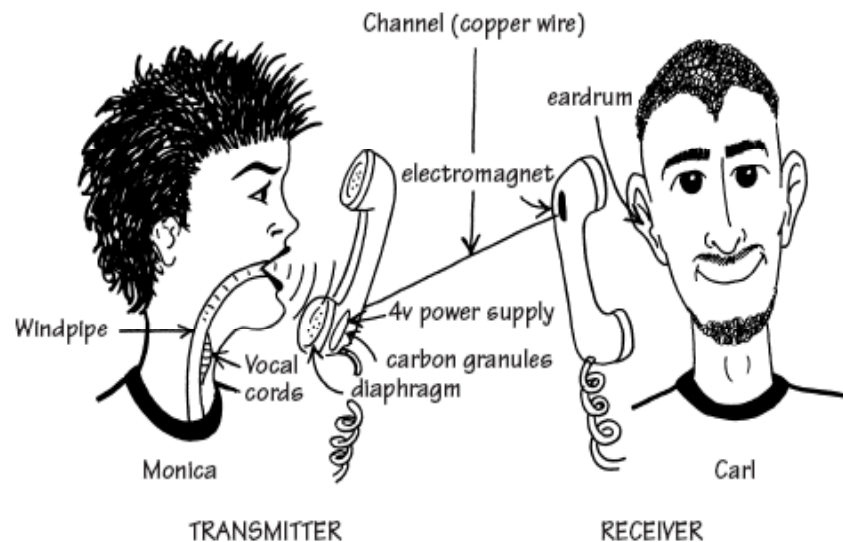
Komunikacioni proces!

- * **Definicija:** Telekomunikacije predstavljaju prenos informacije sa jedne lokacije (iz jednog trenutka vremena) na drugu lokaciju (u drugi trenutak vremena), 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.

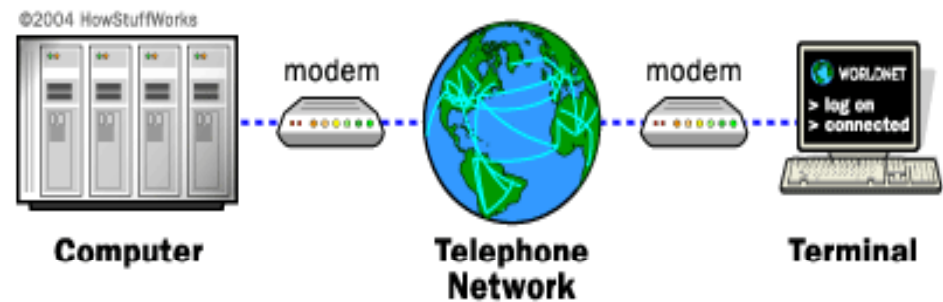
- * Problem komuniciranja je multidisciplinaran (psihologija, biologija, filozofija,...)
 - Telekomunikacije imaju za cilj da obezbede **tačnost** prenosa simbola (smisao i sadržaj poruke se irelevantni!).

Primeri komunikacije

* Prenos glasa



* Prenos podataka



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 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).

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.

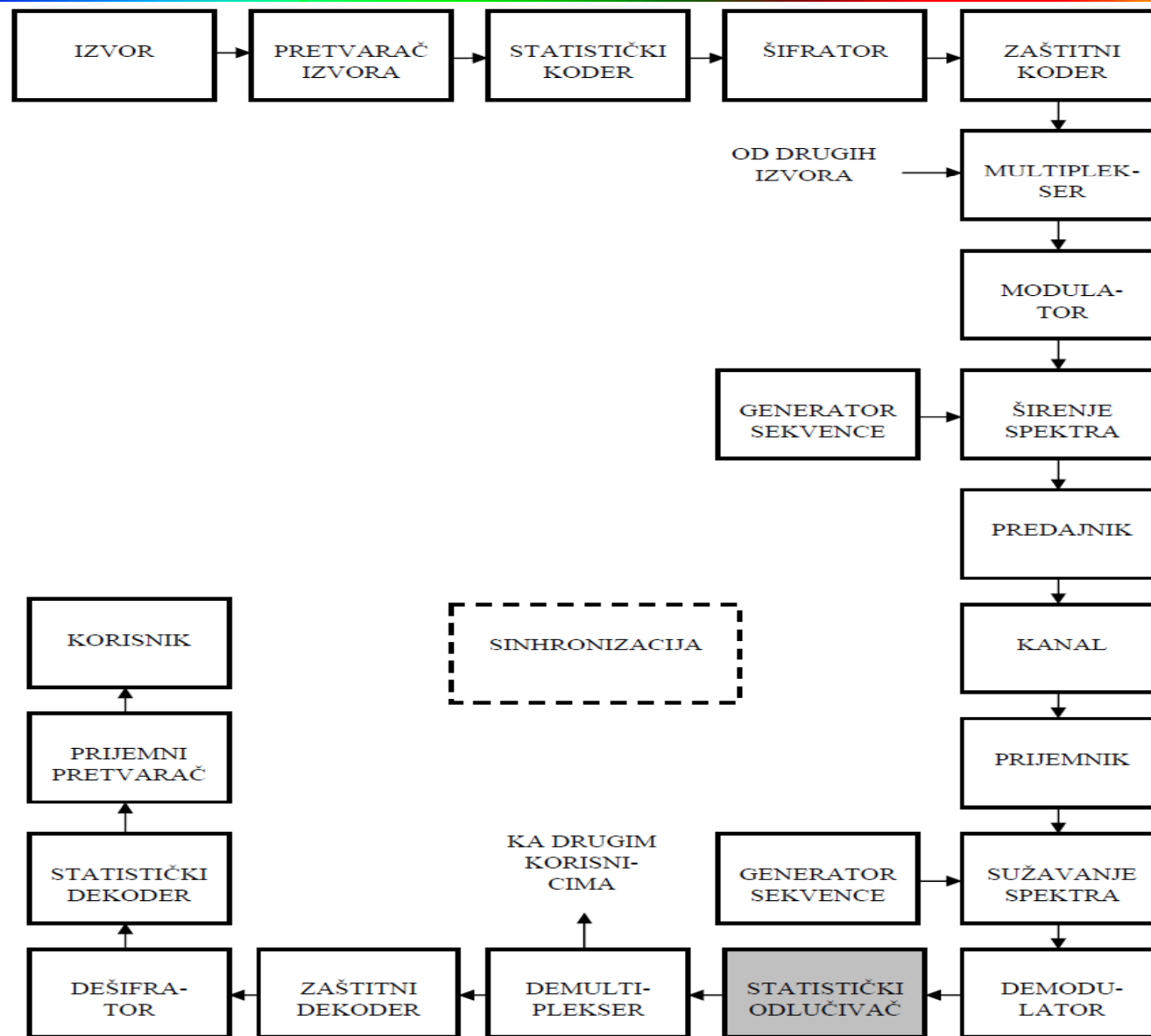
* Cilj pri projektovanju telekomunikacionog sistema je da se emitovana snaga i dostupan opseg frekvencija koriste na što efikasniji način

- 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) kroz uzak propusni opseg sa što manjom emitovanom snagom.
- * Zahvaljujući alatima statističke teorije telekomunikacija, današnji digitalni sistemi prenosa *omogućavaju skoro savršeno pouzdan prenos čak i kroz vrlo nepouzdan kanal!*
- * Nivo signala na ulazu u komercijalni radio-prijemnik je reda veličine $10\log_{10}(P[\text{mW}])=-60\text{dBm}$.
- * Kosmičke sonde Pioneer 10 i 11:
 - lansirana 1972, krajem 2001 izašla je iz Sunčevog sistema;
 - 30.12.2003. rastojanje od Zemlje iznosilo je 12.51 milijardi km;
 - za dvosmernu komunikaciju potrebno 23h i 11min;
 - brzina kretanja sonde oko 44000km/h;
 - nivo signala -178,5dBm ($1.41 \cdot 10^{-21}\text{W}$), odnos signal/šum -0.5dB;
 - protok 16b/s.

Detaljna blok šema sistema



Izvor - karakteristike generisanih poruka

Signal govora

- * Spektar signala zauzima opseg frekvencija (učestanosti) do oko 10kHz
- * Najveći deo snage signala koncentrisan u opsegu 100-600Hz
- * Prenos signala u opsegu 300-3400Hz, dobar kvalitet prenosa za komercijalnu telefoniju

Muzički signal

- * Spektar signala zauzima opseg frekvencija do oko 15kHz
- * Za prenos signala potreban znatno veći opseg od govornog signala

Video signal

- * Dinamička i statička slika
- * Potreban opseg frekvencija oko 5MHz (1500 puta širi od spektra govornog signala – bar toliko je veći i binarni protok digitalizovanog signala!!!)

Podaci

- * Širokopojasni signal
- * Prenos signala u određenim intervalima, nije kontinualan (*burstiness*)

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)

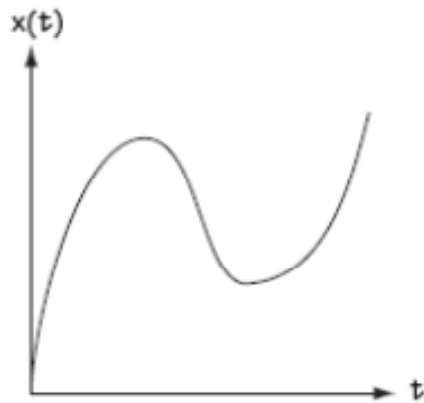
- **Analogni** – signal čija amplituda može uzeti bilo koju vrednost u određenom opsegu;
- **Digitalni** – signal čija amplituda uzima konačan broj vrednosti iz nekog skupa (binarni – dve vrednosti, odgovaraju simbolima “0” i “1”, M-arni -> M vrednosti, odgovaraju simbolima “0”, “1”, ..., “M-1”).

* Prema prirodi:

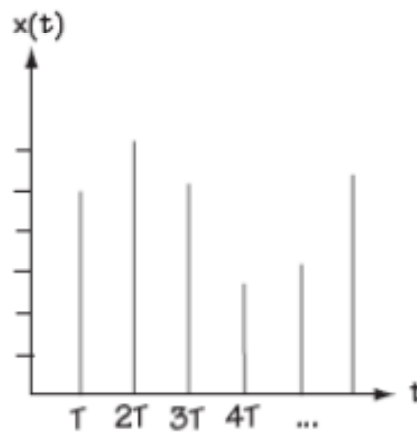
- **Deterministički** – može se predstaviti vremenskom funkcijom $x(t)$ koja određuje vrednost signala u bilo kom trenutku u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti
 - Periodični – ako važi $x(t)=x(t+T)$, tada minimalno T koje ovo zadovoljava predstavlja periodu signala $x(t)$.
 - Aperiodični – signal kod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

Pretvarač izvora

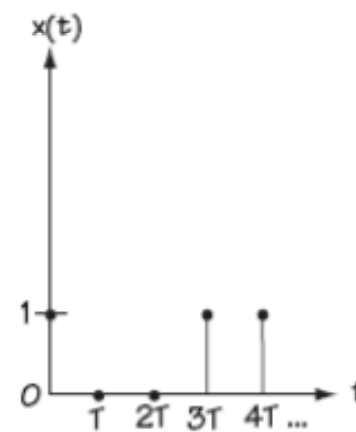
- * Signal se pretvara u **električni oblik** a zatim se obično digitalizuje.
- * **Digitalizacija** signala
 - Signal koji se prenosi je po svojoj prirodi obično kontinualan, analogan i najčešće slučajan;
 - Prvo se obavlja **diskretizacija** signala (koji je pritom još uvek analogan);
 - Nakon zaokruživanja 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 pretvoriti u **binarni digitalni** signal.
 - I binarni digitalni signal je slučajan (inače ne nosi informaciju!).



Kontinualni signal



Signal diskretan
u vremenu



Binarni digitalni signal

Deterministički blokovi

- * Jedna od često korišćenih osobina digitalnog prenosa je vremensko multipleksiranje koje se vrši u **multiplekseru**, gde dolaze i biti iz ostalih kanala (mogu se multipleksirati pritoke različitih brzina).
- * **Modulator** – prilagođava poslati signal kanalu kroz proces modulacije, korišćenjem pomoćnog signala – nosioca. Modulacija predstavlja promenu parametara nosioca u skladu sa promenama signala poruke (tj. signala na izlazu zaštitnog koda).
- * Jedna od mogućnosti koju pružaju savremeni komunikacioni sistemi je rad u proširenom spektru. Ova mogućnost je naznačena blokom **širenje spektra** koji se može shvatiti i kao dodatni modulator. Ovaj blok ima i svoj *generator sekvence*.
- * **Predajnik** (u užem smislu) generiše signal određene snage (moguće ili dopuštene) i emituje u raspoloživi medijum.
- * Za uspešan rad jednog ovakvog sistema mora da postoji i odgovarajuća **sinhronizacija**.

Kanal

- * **Fizička sredina koja se koristi za prenos signala.**
- * **Primeri:**
 - **Telefonski kanal**
 - **Koaksijalni kabl**
 - **Optičko vlakno**
 - **Elektroditributivni vod**
 - **Radio prenos u mobilnom sistemu**
 - **Satelitski kanal**
 - **Bežični širokopolasni prenos**

Opšte karakteristike kanala

* Svaki kanal ima neke nedostatke

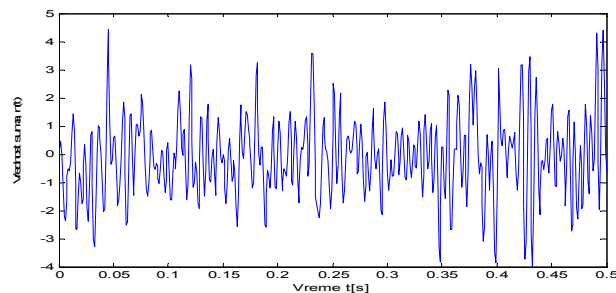
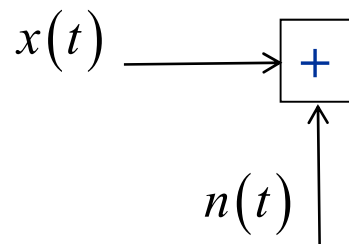
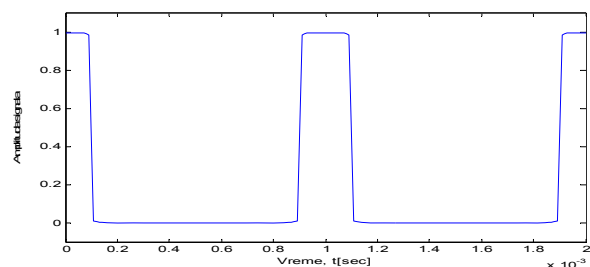
- Unosi *slabljenje* pri prenosu signala;
- Usled ograničenog propusnog opsega javlja se *izobličenje* poslatog signala; Izobličenja mogu nastati i kao posledica nelinearnosti;
- Javljaju se i *smetnje* nastale kao posledica rada uređaja, industrijske opreme ili su čak izazvane namerno.

* U svakom telekomunikacionom kanalu postoji i šum nastao delovanjem

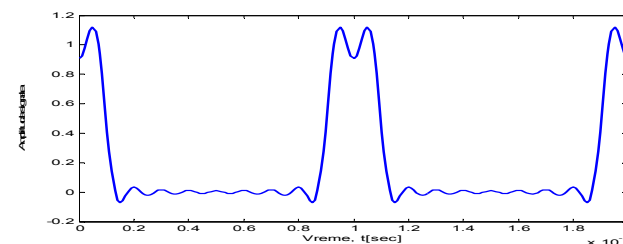
- Internih izvora šuma (termički šum nastao u samom kabl...);
- Eksternih izvora (brojni izvori radio-signala slabe snage);
- Šum je tipičan primer slučajnog signala – ne može se opisati jednostavnom funkcijom!

Kako utiču smetnje?

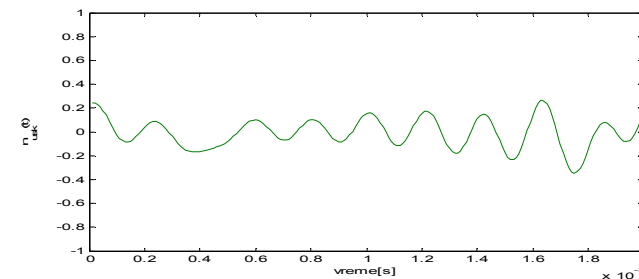
- * Ukupan odziv je jednak zbiru odziva na pojedinačne komponente pobudnog signala!



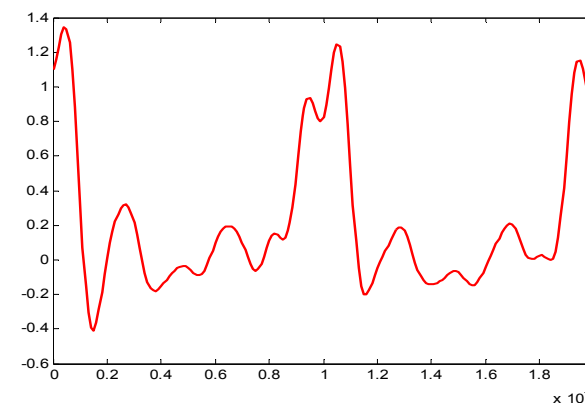
$y(t)$



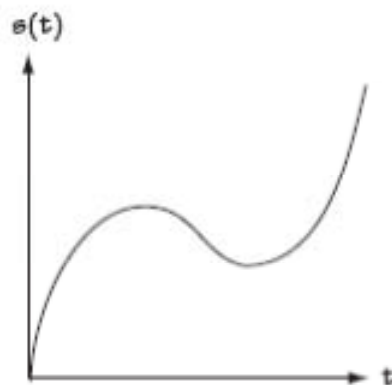
+



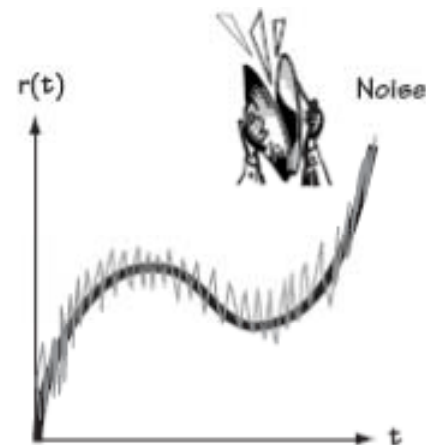
=



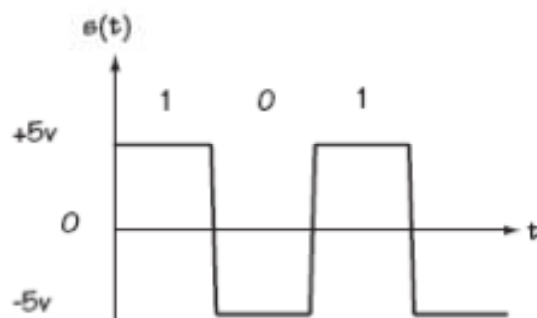
Prenos analognih i digitalnih signala



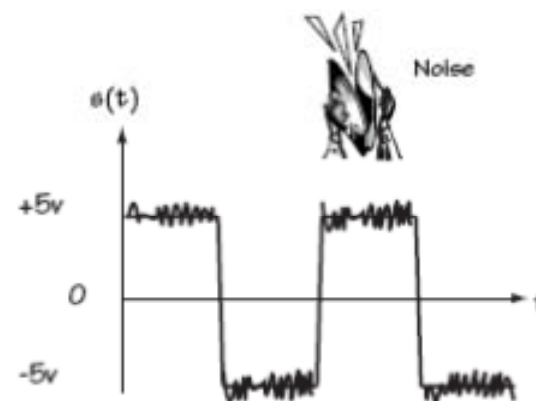
Poslati analogni signal



Primljeni analogni signal



Poslati digitalni signal



Primljeni digitalni signal

Pristup sa stanovišta teorije informacija

* Cilj nije da savršeno verno prenesemo signal!

- Nemoguće je primljeni signal savršeno očistiti od šuma – *filtracija* nikad ne daje savršeno rešenje, smetnja uvek ostaje prisutna u nekoj meri.
- U slučaju binarnih digitalnih signala treba samo prepoznati da li je verovatnije da je poslat viši ili niži naponski nivo – problem *detekcije*. Neki od bita će biti pogrešno primljeni – mera kvaliteta je verovatnoća greške po bitu (*Bit Error Ratio* – BER).

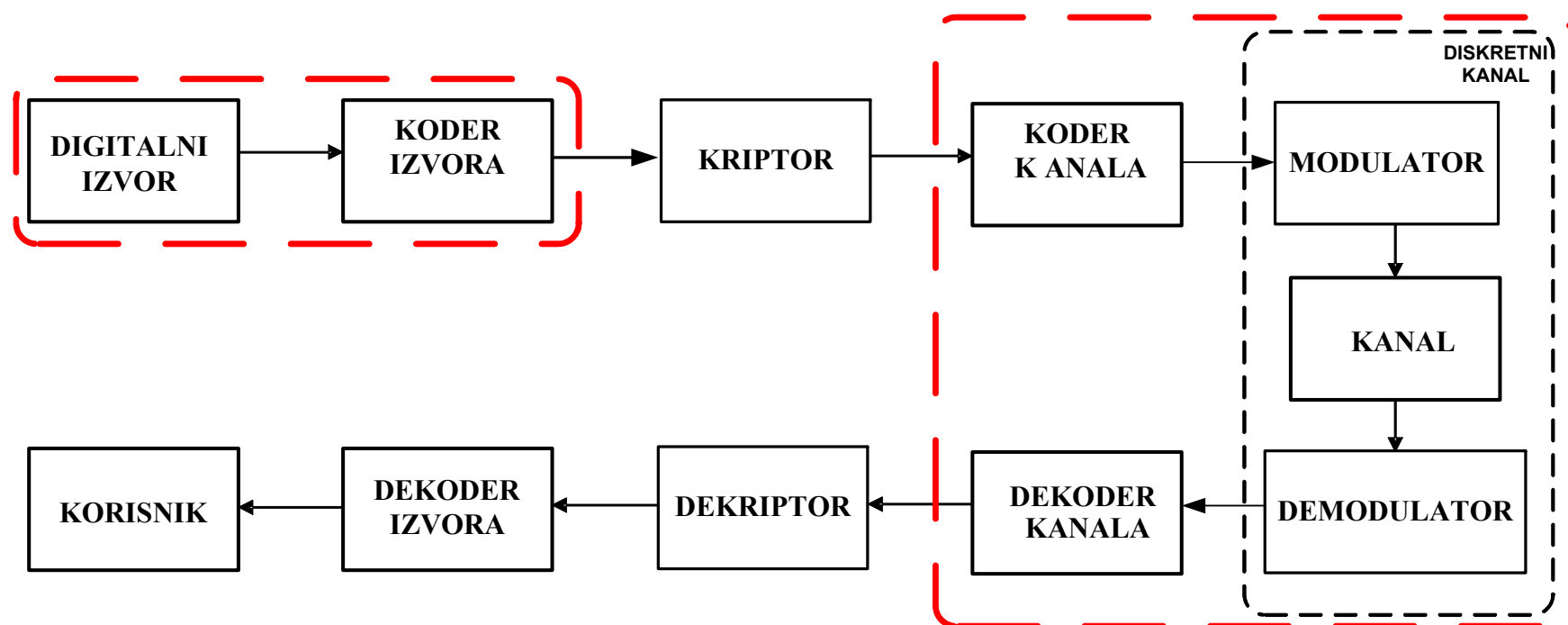
* Šta je nama zaista cilj?

- Pre svega, treba savršeno tačno preneti informacionu sekvencu (u ovom slučaju binarnu sekvencu “10011”).
- Ako ova sekvenca može da se predstavi *manjim brojem bita* a da se iz nje može rekonstruisati originalna sekvenca to je svakako poželjno – za istu brzinu prenosa poslaćemo (i primiti) veću količinu informacija! Vezano za to, kako da procenimo koliko *informacija* emituje ovaj izvor?
- Cilj je savršeno pouzdan prenos podataka! Da li možemo obezbediti da se sekvenca “10011” *prenese sa veoma niskom verovatnoćom greške* (npr. $P_e=10^{-9}$) čak i kada je odnos signal-šum u kanalu nizak?

* Da bi se ovaj cilj praktično postigao koriste se zaštitni i statistički kodovi!

Blok šema sistema sa stanovišta teorije informacija

- * Smatra se da izvor emituje nekakve simbole \rightarrow q -nivoski digitalni signal može se opisati sa q mogućih amplituda.
- * Ciljevi sistema – *efikasan*, *siguran* i *pouzdan* prenos podataka.



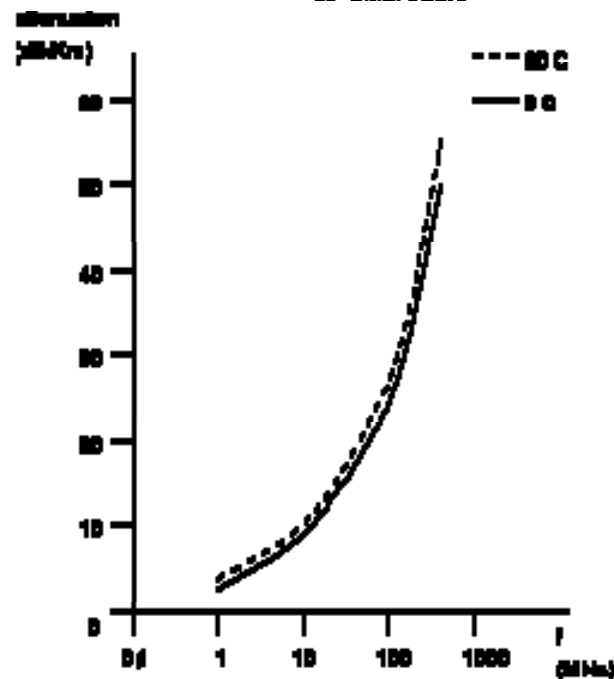
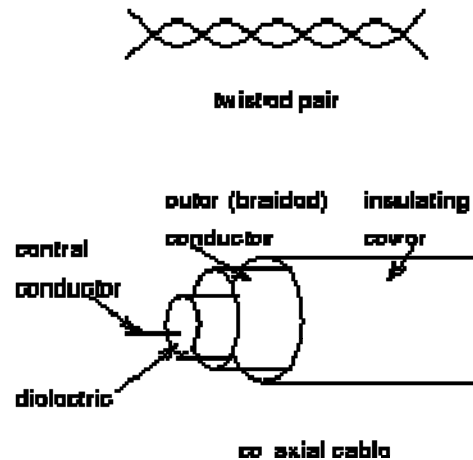
Koder izvora, šifrator, zaštitni koder

- * **Koder izvora** ovako digitalizovanu poruku pretvara u binarni oblik i ispuni neke dodatne zahteve:
 - Cilj je svaku poruku predstaviti *minimalnim brojem bita* a da informacija bude prenet. Koliko *informacija* zaista emituje izvor?
 - Dekoder izvora u idealnom slučaju obavlja inverznu funkciju.
- * Ovako dobijeni binarni niz se u sledećem bloku (**šifrator**) šifruje, što ima za cilj očuvanje tajnosti pri prenosu podataka.
- * **Zaštitni koder** – ima cilj da što je moguće više smanji verovatnoću greške pri prenosu pojedinih bita poruke. Na ulazu i izlazu koderu pojavljuju se biti, dok transformaciju bita u signale vrši modulator.
 - Nakon zaštitnog koder bita poruke su “oklopljeni” zaštitnim bitima.



PRIMERI TELEKOMUNIKACIONIH SISTEMA

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 kraćim rastojanjima
 - Gubici usled otpornosti žica;
 - Gubici u dielektriku;
 - Gubici usled zračenja.

Koasijalni kabl

- Znatno manje vrednosi slabljenja
 - 10MHz – 10dB/km, 500MHz – 50dB/km.
- Veća cena kabla;
- Veća otpornost na zračenja;
- Na veoma malim rastojanjima prenos do Gb/s.

Prenos u slobodnom prostoru

- * Prostiranje talasa u slobodnom prostoru – gubici usled propagacije (srazmerni kvadratu rastojanja).
- * Više podopsega sa različitim uslovima prenosa (elektromagnetski spektar):

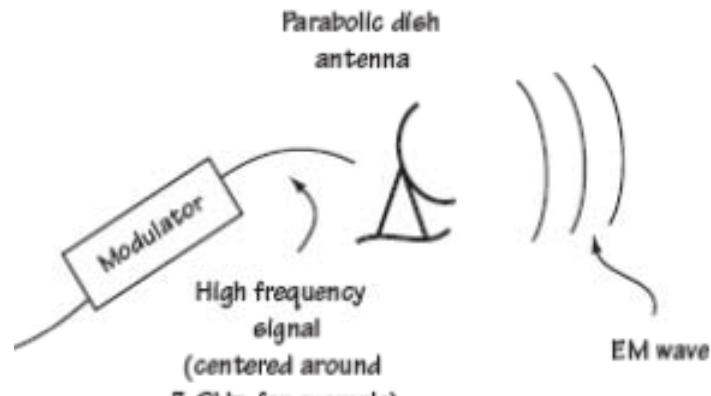
Description	Frequency	Wavelength
High frequency	3 - 30MHz	100 - 10m
VHF	50 - 100MHz	6 - 3m
UHF	400 -1000MHz	75 - 30cm
Microwaves	$3 \times 10^9 - 10^{11}$ Hz	10cm - 3mm
Millimetre waves	$10^{11} - 10^{12}$ Hz	3mm - 0.3mm
Infrared	$10^{12} - 6 \times 10^{14}$ Hz	0.3mm - 0.5 μ m
Light	$6 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$ 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^{-13} m
Gamma rays	$> 10^{19}$ Hz	$< 10^{-13}$ m

Modeli komunikacije u telekomunikacionim sistemima

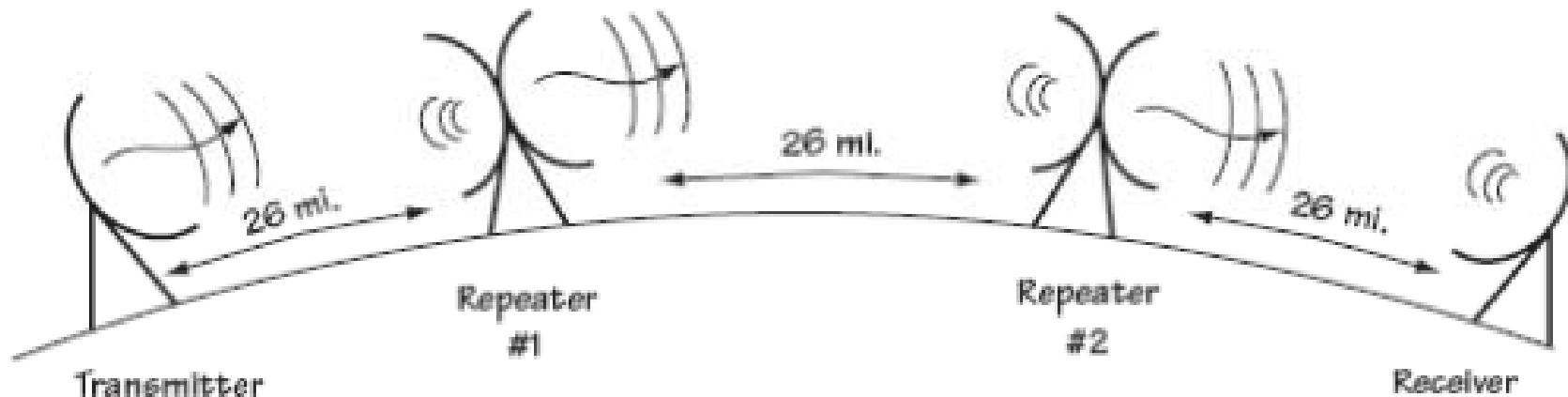
- * ***Difuzija (broadcasting)***, u ovom modelu komunikacije koristi se jedan prtedajnik velike snage i veliki broj relativno jeftinih prijemnika. Signali koji nose informaciju kreću se samo u jednom pravcu:
 - tipični predstavnici ovog modela komunikacije su radio i TV difuzija.
- * ***Komunikacija tipa tačka-tačka (Point-to-point, PTP)***, u ovom modelu komunikacije proces se odvija preko linka između jednog prijemnika i jednog predajnika. U ovom slučaju obično se javlja dvosmerni prenos informacionih signala:
 - primer je komunikacija između Zemaljske stanice i telekomunikacionog satelita u satelitskim, ili dva primopredajna uređaja u radio-relejnim (usmerenim radio) vezama (linkovima).

Bežični prenos u μ -talasnom opsegu

- Modulator, Predajna antena;
- Prijemna antena, Demodulator.

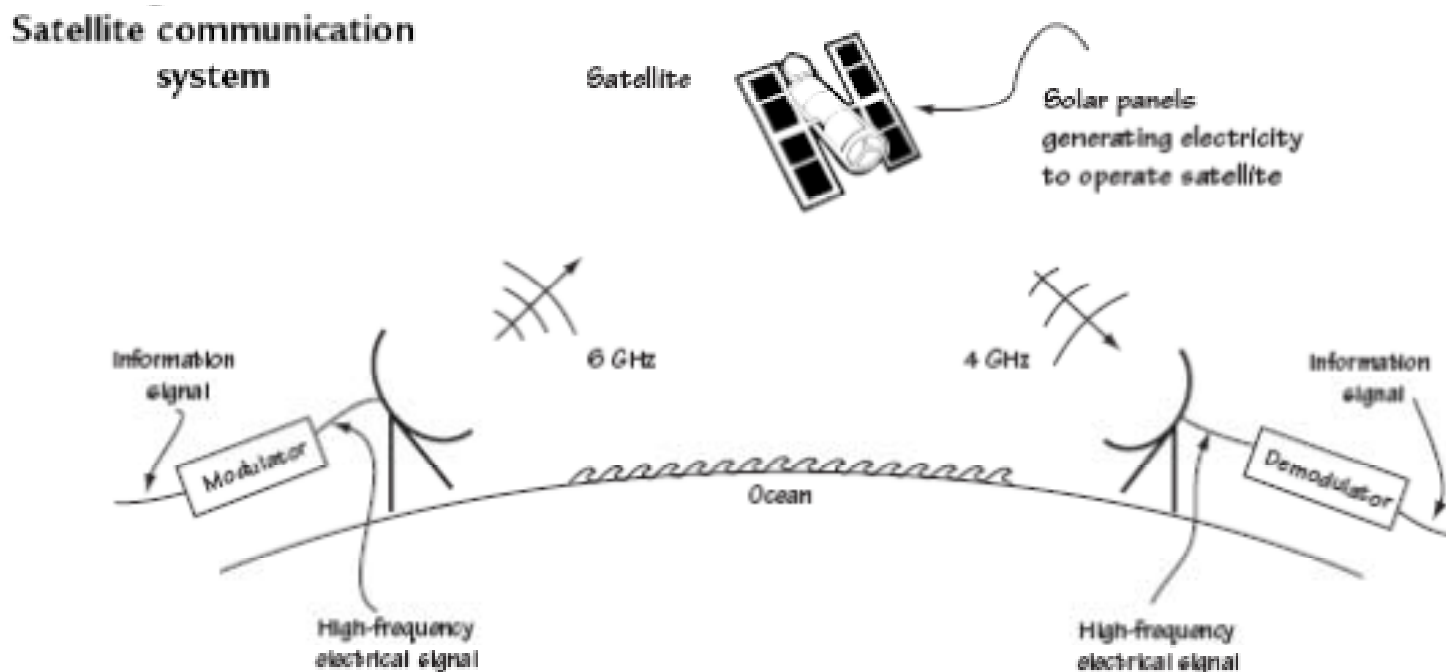


- Nije potrebno polaganje kablova (jednostavnije održavanje, instalacija na komplikovanim terenima,...)
- Ograničene frekvencije dostupne za prenos
- Atmosferski uticaj (slabljenje usled kiše)
- Potrebna direktna linija vidljivosti
- RF interferencija



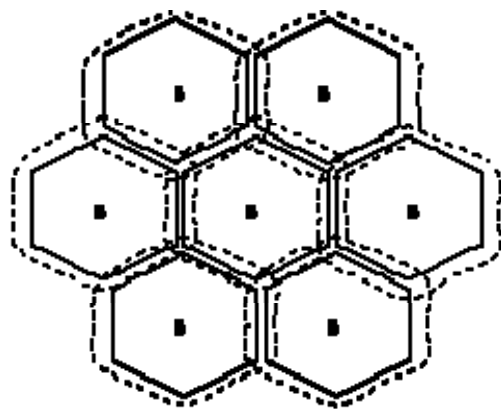
Satelitski prenos

- * Nedostupne lokacije nemaju alternativne mogućnosti pokrivanja
- * GEO (*Geostationary orbit*, 36000km)
 - Velike oblasti pokrivanja, pouzdane veze, širok opseg frekvencija
 - Transponder (sa i bez regeneracije)
- * LEO – satelitski mobilni sistemi (*Iridijum, Globestar*).

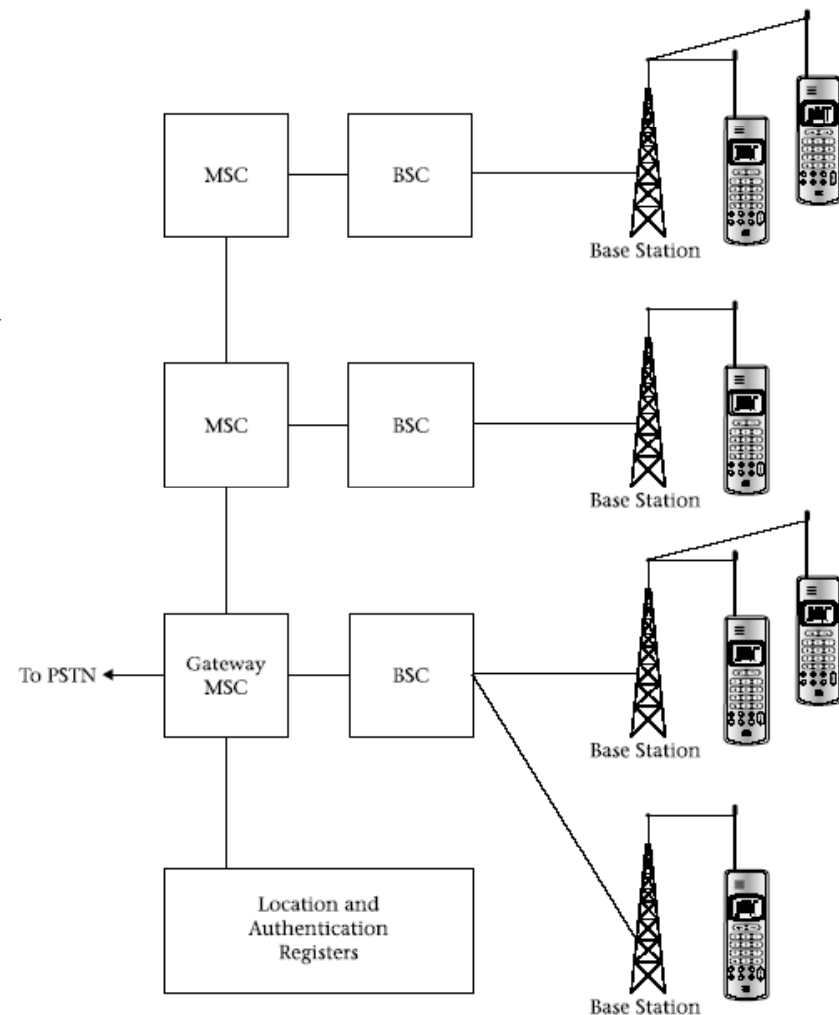


Mobilni radio sistemi (GSM, UMTS)

- * Mobilnost predajnika i/ili prijemnika
- * Čelijska struktura sistema, frekvencijsko planiranje
- * Višepropagacija signala
- * Ograničene emitovane snage na predaji
- * GSM (*Groupe Special Mobile*)
 - Dobar kvalitet govornog signala, niske cene uređaja i servisa



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



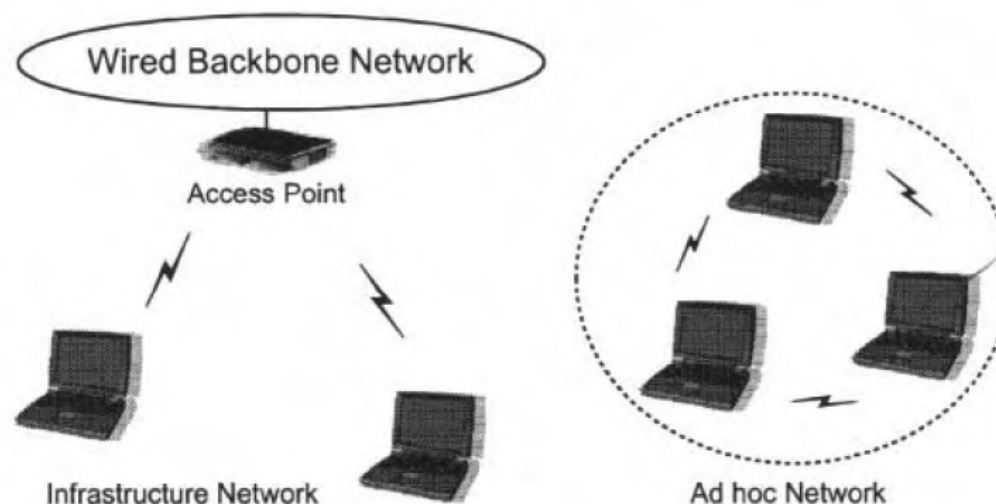
Bežične mreže (WiFi i WiMax)

* WLAN – bežične lokalne mreže

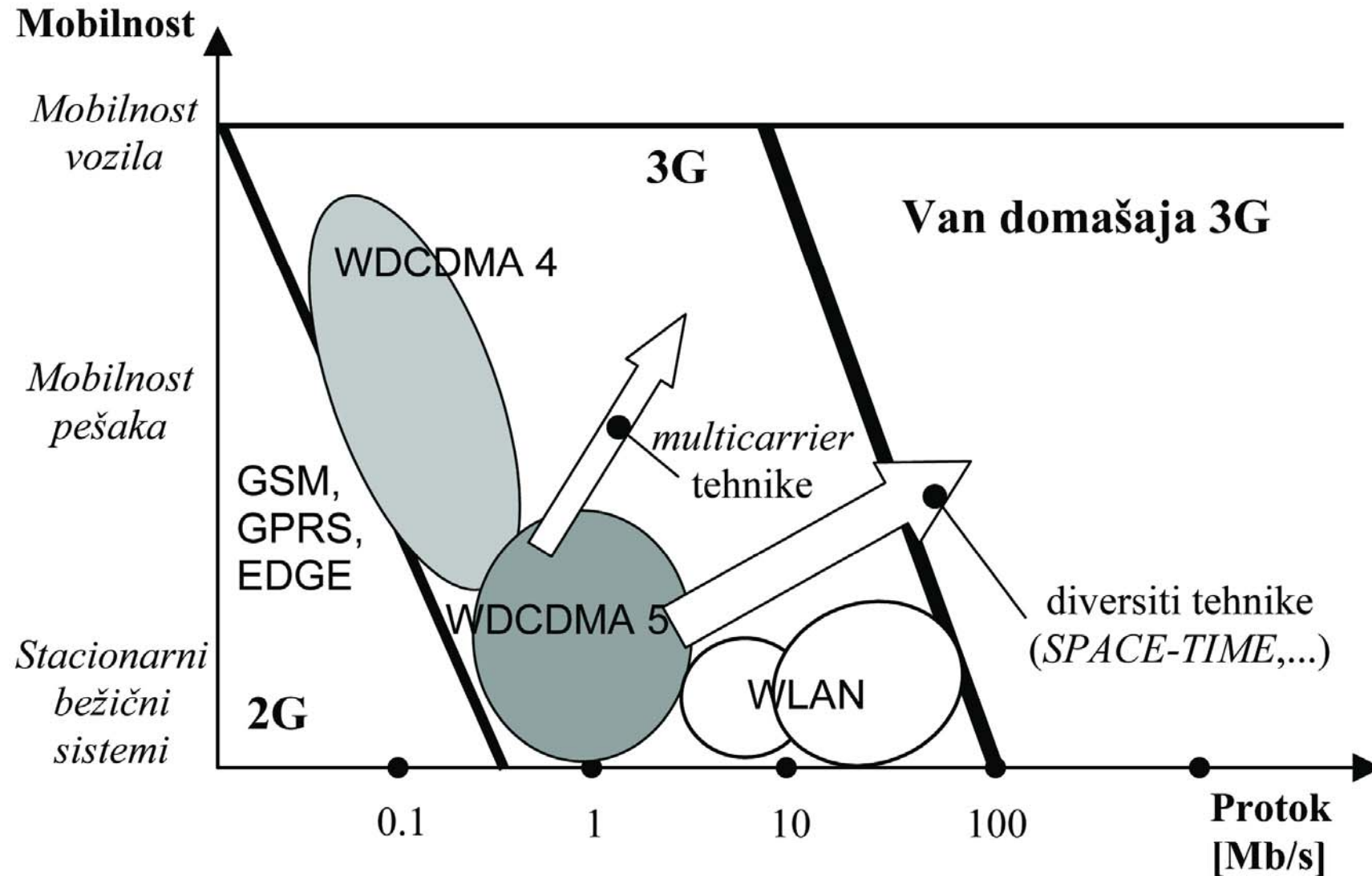
- poznati i kao WiFi sistemi, rade na opsezima 2.4GHz i 5GHz.
- Međunarodni standard IEEE 802.11, protok i do 200 Mb/s;
- Evropski standard ETSI HIPERLAN/2.

* WMAN – bežične metropoliten mreže

- Standard 802.16 (WiMax) – širokopojasni prenos podataka na nivou jednog grada, veliki protoci uz umerenu mobilnost.



Savremeni bežični sistemi



Višeantenski sistemi (MIMO)

- Ako na predajnom i prijemnom kraju sistema postoji veći broj antena, primljeni signali se mogu kombinovati na optimalan način.
- Na ovaj način se postiže teorijski linearan rast kapaciteta MIMO sistema sa povećanjem broja predajnih i prijemnih antena.

