

### 1. VRSTE KOMUNIKACIJA IZMEĐU KORISNIKA, OSNOVNE ZNAČAJKE KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA

- JEDNOSMJERNE - komunikacija se odvija samo u jednom smjeru bez mogućnosti javljanja (pager)
- DVOSMJERNE - komunikacija se odvija u oba smjera - SIMPLEKS - naizmjenično
  - DUPLEKS - istovremeno
- značajke KS-a: - frekventijsko područje (širina frekventijskog područja)
  - RF snaga bazne i mobilne stanice
  - kodiranje izvora informacije, kanalno kodiranje
  - modulacijske metode
  - mobilnost korisnika

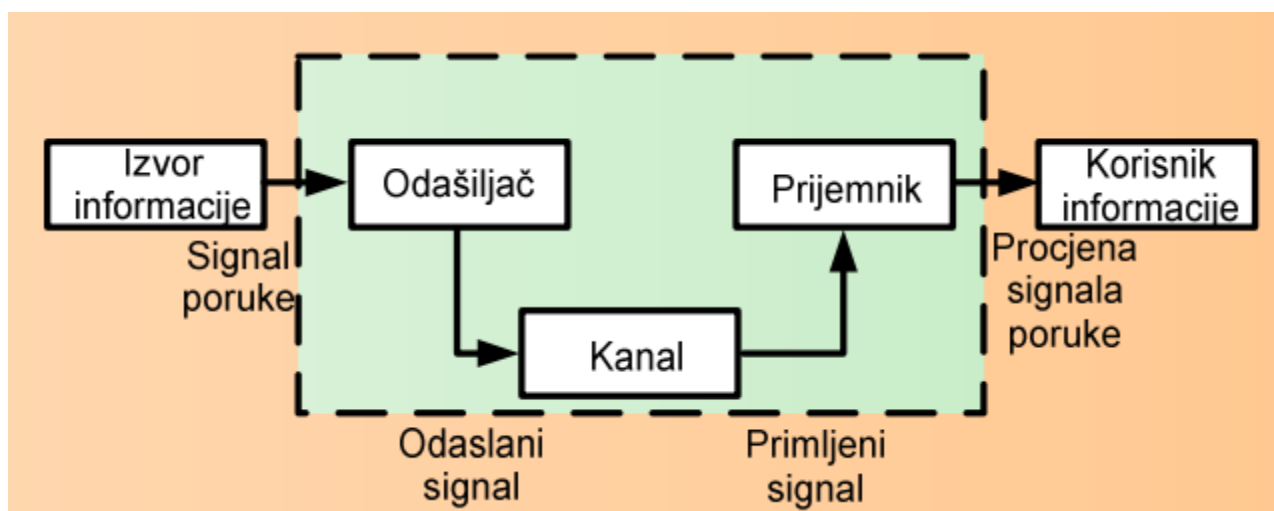
### 2. OSNOVNI RESURSI KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA, ZNAČAJKE

- FREKVENCIJSKO PODRUČJE - dragocjen resurs jer je ograničen i nepromjenjiv
  - od reda kHz do nekoliko stotina GHz (spektar nije zatvoren s gornje strane)
- VRIJEME
- KOD
- PROSTOR
- komunikacija se odvija unutar navedenih resursa, a način dodjele se odvija pomoću višestrukog pristupa

### 3. VRSTE VIŠESTRUKIH PRISTUPA

- FDMA - frekventijsko područje se dijeli na n korisnika i svaki korisnik ima isključivo pravo na dodijeljeni pojas, između kanala mora biti zaštitni pojas
- TDMA - više korisnika dijeli frekventijski pojas tako da se svakome od korisnika dodijeli jedan vremenski interval, osnovni pristup u digitalnim mobilnim sistemima 2. generacije
- CDMA - svaki korisnik ima određeni kod (kodovi su ortogonalni),
  - korisnici dijele isti frekventijski kanal i vremenski resurs
  - BS šalje sve kodove na istoj frekvenciji, svaki korisnik (MS) izdvaja iz tog signala svoj kod tako da prijemni signal pomnoži vlastitim kodom (svojstvo ortogonalnosti)
- SDMA - pristup po položaju korisnika, pristup vezan uz upravljive uske snopove dijagrama zračenja bazne stanice (latice), koriste se „pametne antene“ koje prilagođavaju dijagram zračenja prema korisniku, dok minimizira prijem iz smjera mogućeg ometajućeg izvora
- PDMA - pristup razdiobom po polarizaciji, s 2 para ortogonalno polariziranih antena mogu komunicirati 2 korisnika istovremeno u istom frekventijskom pojasu na istoj lokaciji u prostoru

### 4. BLOK SHEMA TIPIČNOG KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA



## **5. POJAM IZOTROPNOG RADIJATORA, KARAKTERISTIČNI PARAMETRI ANTENA**

- IZOTROPNI RADIJATOR - točkasti izvor zračenja koji u prostor odašilje kuglasti val, u praksi ne postoji
- parametri antene:
  - polarizacija (orijentacija vektora E)
  - dijagram zračenja (raspored intenziteta zračenja u prostoru)
  - impedancija (impedancija na priključnicama, najčešće 50Ω)
  - usmjerenost (odnos intenziteta zračenja u pojedinom smjeru u odnosu na izotr. rad.)
  - dobitak (vezano uz usmjerenost, uključeni gubici)
  - efektivna površina
  - temperatura šuma
  - razne mehaničke i ostale karakteristike

## **6. DIJAGRAM ZRAČENJA ANTENE, POJAM DOBITKA**

- DIJAGRAM ZRAČENJA - opisuje raspodjelu gustoće snage na površini kugle (u dalekoj zoni), odnosno smjerove glavnih i sekundarnih latica
  - na presjeku glavne latice i kuta usmjerenosti, snaga pada na 50%, a el. polje na 70%
- DOBITAK ANTENE - govori nam koliko više snage treba izračiti iz izotropnog radijatora da bi na istoj udaljenosti postigli jednaku gustoću snage kao kod promatrane antene
  - dobitak prema izotropnom radijatoru - dBi
  - dobitak prema poluvalnom dipolu - dBd

## **7. ZNAČAJKE ANTENA BAZNIH STANICA, NAGINJANJE DIJAGRAMA ZRAČENJA**

- zračenje antene bi trebalo pokrivati onaj dio površine koji pripada dotičnoj ćeliji
- pokrivanje je mahom određeno horizontalnim dijagramom zračenja, dok uža snop u vertikalnoj ravnini određuje utjecaj na susjedne ćelije
- ukoliko postoji utjecaj na druge ćelije dijagram antene se može nagnuti u vertikalnoj ravnini
- zbog velikog broja kanala poželjno je koristiti širokopojasne antene (ili više uskopojasnih)
- treba maksimizirati dobitak uz zadani dijagram zračenja
- osnovni razlog je sprečavanje interferencije među susjednim ćelijama
- ćelije se projektiraju tako da svaka antena pokriva svoju ćeliju, a njezin utjecaj u susjednoj ćeliji je zanemariv
- još jedan razlog za naginjanje je položaj korisnika – mala vjerojatnost da je korisnik na visini antene (15m)
- postoji mehanički i električki tilt (nagib)

## **8. SVOJSTVA ANTENA ZA PRIJENOSNE UREĐAJE**

- male dimenzije
- frekventijsko područje treba pokriti sve podržane standarde (kombinirane antene)
- za efikasno zračenje duljina bi trebala biti barem  $\lambda/4$ , ali pošto je to nepraktično, koriste se integrirane antene koje imaju smanjenu efikasnost naspram dipola
- zbog jeftine proizvodnje i jednostavne izvedbe koriste se „patch“ antene izvedene kao geometrijska struktura na dielektriku, mogu se integrirati u MS, ali imaju malu širinu pojasa i nisku efikasnost
- u prijenosnim uređajima se koriste hibridne strukture koje kombiniraju nekoliko vrsta antena, osiguravajući potreban pojas

## **9. PRIGUŠENJE VALA U SLOBODNOM PROSTORU, FRIISOVA FORMULA**

- model slobodnog širenja EM vala pretpostavlja postojanje prostora između odašiljačke i prijemne antene u kojem nema nikakvih prepreka (LOS-Line Of Sight), analogija sa širenjem svjetlosti u prostoru
- ako imamo izotropnu antenu i slobodni prostor prigušenje je dano formulom:

$$L_{LOS}(d) = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

$$L_{LOS}(dB) = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$$

## 10. GRANIČNA PODRUČJA ZRAČENJA EM VALA

- antene koje nisu izotropne imaju neki dobitak, tj. usmjereni dijagram zračenja
- pretpostavi li se da su maksimalne dimenzije antene  $D$ , prostor oko takve antene može se podijeliti na područja gdje zračenje EM vala ima specifična svojstva
- BLISKO-REAKTIVNO PODRUČJE
- DALEKA FRAUNHOFEROVA ZONA - posebno zanimljiva u praksi

## 11. PRIJEMNA SNAGA ZA SLUČAJ REALNIH ANTENA, PRIJEMNA SNAGA IZRAŽENA PREKO REFERENTNE RAZINE, POJAM EIRP-a i ERP-a

- promatra li se sustav kod kojeg antene nisu izotropne, već imaju neki dobitak, može se odrediti snaga na prijemnoj anteni:

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$P_t$ ,  $P_r$  - odašiljačka i prijemna snaga

$G_t$ ,  $G_r$  - dobici odašiljačke i prijemne antene

- zbog bliskog (reaktivnog) polja u neposrednoj blizini antene, prigušenje za  $d=0$  i za male vrijednosti  $d$  nije definirano prethodnim izrazom, stoga se uvodi neka referentna udaljenost  $d_0$  koja u dalekoj zoni antene i za mobilne sustave iznosi od nekoliko metara do 1km
- sve prijemne snage za  $d > d_0$  mogu se izraziti preko prijemne snage na referentnoj udaljenosti

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2$$

- efektivna izotropna izračena snaga EIRP je snaga koja uzima u obzir i dobitak antene u odnosu na izotropni radijator i definira se kao:  $EIRP = P_t G_t$  [W] ili  $EIRP(dBW) = 10 \log(P_t G_t)$
- to je ustvari izračena snaga odašiljača u smjeru maksimalnog zračenja antene

- u praksi se često koristi poluvalni dipol kao referentna antena, pa se definira efektivna izračena snaga ERP
- poluvalni dipol ima dobitak prema izotropnom radijatoru 2,15dB, pa je veličina ERP za 2,15dB manja od EIRP

## 12. ŠUM, OSJETLJIVOST PRIJEMNIKA

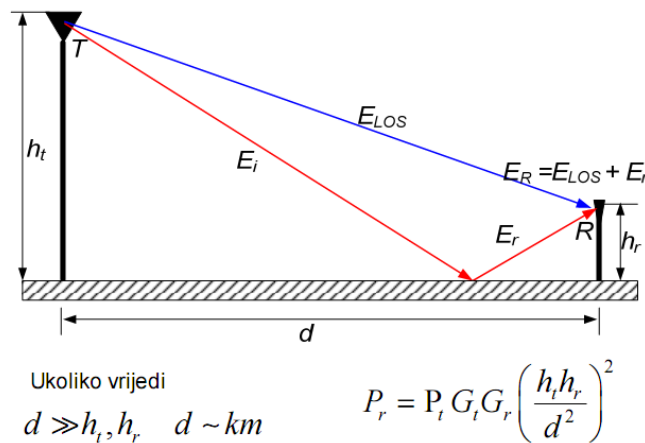
- šum je sveprisutan ometajući signal koji se sastoji od termičkog šuma i drugih izvora
- termički šum ovisi o temperaturi okoline (prosječna temperatura je 300K)
- gustoća snage spektra termičkog šuma je  $N_0 = kT_e$  gdje je  $k$  Boltzmanova konstanta, a  $T_e$  temperatura
- gustoća snage šuma za prosječnu temperaturu je  $N_0 = -174$  dBm/Hz
- sveukupna snaga šuma ovisi o širini pojasa  $B$  (Hz)  $P_n = N_0 B \Rightarrow -174 + 10 \log B$  dBm
- osjetljivost prijemnika je sposobnost prijemnika da primi slabi signal te da od takvog signala dobije korisnu informaciju prihvatljive kvalitete i upotrebljive razine
- često je dana u obliku minimalne snage u dB u odnosu na 1mW (dBm), a tipična osjetljivost je oko -100dBm
- za analogne prijemnike parametar kvalitete je odnos signala prema šumu poslije detekcije ili

### 13. OSNOVNI MEHANIZMI ŠIRENJA ELEKTROMAGNETSKOG VALA

- LOS (line of sight) – postoji optička vidljivost između odašiljačke i prijemne antene
- REFLEKSIJA OD TLA I PREPREKA - javlja se pri upadu na glatku reflektivnu površinu (po Rayleighovom kriteriju)
  - površine moraju biti mnogo većih dimenzija od valne duljine
- OGIB (difrakcija) - zasjenjenje pravca širenja EM vala objektima koji su puno veći od valne duljine
  - iza objekta nastaje prigušeni sekundarni val
  - iako je prijemnik zaklonjen preprekom on i dalje može primiti signal jer se rub objekta ponaša kao novi izvor vala (Huygens)
- RASPRŠENJE VALA - na objektima koji su reda veličine valne duljine
  - ako površina na koju upada EMV ne zadovoljava Rayleighov kriterij dolazi do raspršenja odnosno sporednih valova tako da snaga u smjeru glavne fronte pada
  - stupovi, drveće, prometni znakovi, zelenilo...
- APSORPCIJA VALA PRI PROLAZU KROZ PREPREKE - pri prolasku vala kroz prepreku on gubi svoju energiju
  - ovisno o građi i debljini materijala ovisi hoće li se val potpuno ugušiti ili samo prigušiti
  - najčešće zgrade u gradskim uvjetima

### 14. MODEL DVIJE ZRAKE

- ovisno o visini odašiljačke antene odnosno o kutu upada zrake  $E_i$  će ovisiti koliko će se zemlje ponašati kao refleksijska ploha
- ako je zadovoljen uvjet  $d \gg h_t, h_r$ ,  $h_r$  do prijemnika će osim  $E_{LOS}$  dolaziti i  $E_r$
- tamo će se zrake zbrojiti ili oduzeti ovisno o fazama s kojima dolaze
- eksponent prigušenja nije više 2 nego 4, tj prigušenje pada 40dB po dekadi



### 15. MODEL OŠTRICE NOŽA

- dolazi do zasjenjenja zbog prepreke koju možemo okarakterizirati kao visoku i oštru dimenzija puno većih od valne duljine  $\lambda$
- graf prikazuje dobitak u prisustvu oštrice u odnosu na jačinu polja kad ne bi bilo oštrice ni zemlje, u odnosu na Fresneov parametar

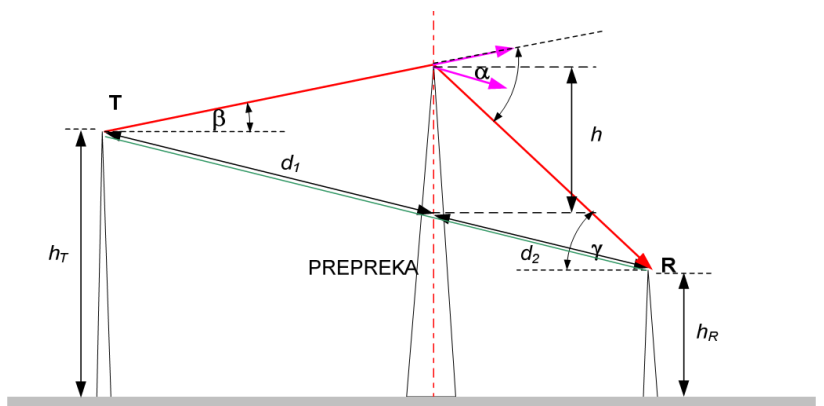
Razlika staza:  $\Delta d \approx \frac{h^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$

Pripadajuća fazna razlika:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta d \rightarrow \alpha \approx h \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$$

Fresnelov parametar:

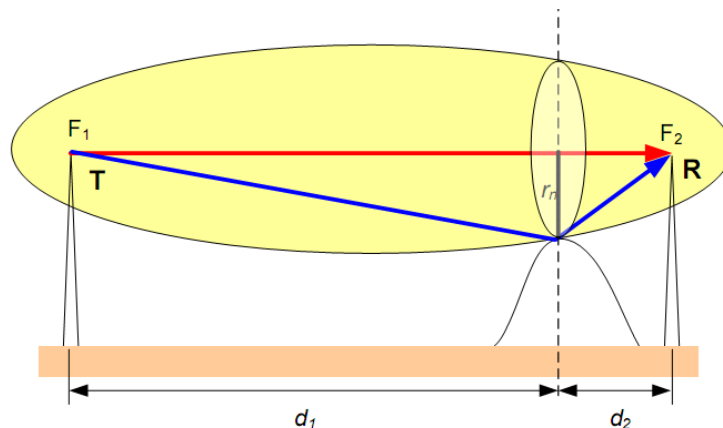
$$v = h \sqrt{2 \frac{d_1 + d_2}{\lambda d_1 d_2}} = \alpha \sqrt{2 \frac{d_1 d_2}{\lambda (d_1 + d_2)}}$$



## 16. FRESNELOVE ZONE

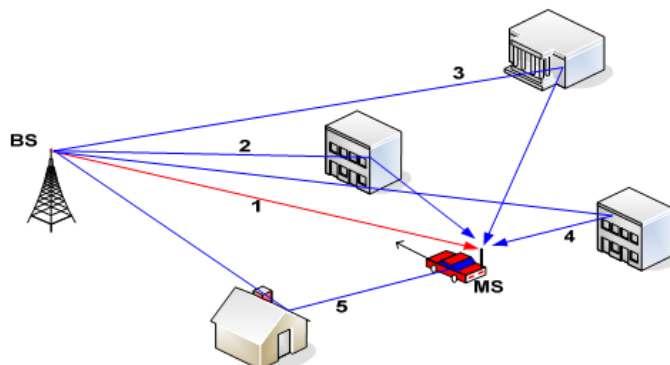
- Fresnelove zone su elipsoidi u čijim žarištima se nalaze odašiljačka i prijemna antena
- unutar prve Fresnelove zone ne smije biti prepreka tako da prijenosni signal bude što manje prigušen, ako prepreka stoji točno na visini LOS-a, gušenje je 6dB
- u parnim Fresnelovim zonama dolazi do destruktivne a u neparnim do konstruktivne interferencije
- za ostvarivanje komunikacije potrebna je čistoća 1. Fresnelove zone (maksimalna obstrukcija je 40%, preporuča se 20% ili manje)
- ako ima prepreka, valovi koji se odbijaju od tih prepreka mogu stići do prijemnika ili u fazi ili u protufazi
- Fresnel je dao način kako izračunati gdje se nalaze zone u kojima će prepreke uzrokovati refleksije većinom u fazi i većinom izvan faze

- općenita jednadžba za računanje polumjera Fresnelovih zona uz  $d_1, d_2 \gg r_n$  je: 
$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$



## 17. VIŠESTAZNO ŠIRENJE VALA, DOPPLEROV POMAK FREKVENCIJA

- višestazno širenje je pojam kada do prijemnika dolazi LOS zraka signala i sve ostale odbijene sporedne zrake koje se na prijemniku vektorski zbroje
- ako je kašnjenje neke zrake u odnosu na LOS zraku veće od reda veličine trajanja impulsa tada dolazi do pogreške u dekodiranju
- osnovna posljedica višestaznog širenja je fading
- izgled kanala ovisi o kašnjenju reflektiranih zraka, te je višestazno širenje u realnim uvjetima neizbježno
- pojave kod višestaznog širenja EM vala:
  - Konstruktivna interferencija - valovi S1 i S2 imaju „trbuhe“ na istim pozicijama, amplituda se povećava (zbroy trbuha)
  - Destruktivna interferencija - valovi S1 i S2 imaju „trbuhe“ u protufazi (S1 trbuh, S2 dolina), poništavaju se



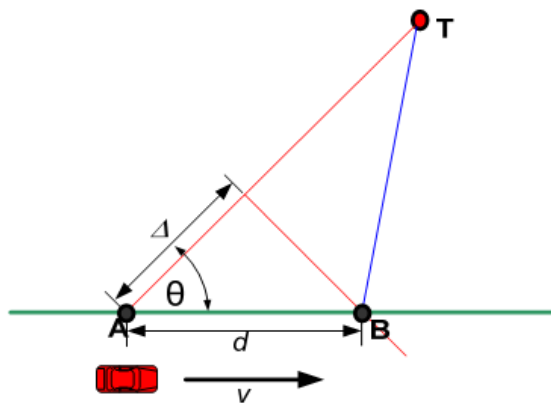
- Dopplerov pomak frekvencija je posljedica Dopplerovog efekta koji se javlja zbog kretanja mobilne stanice
- za kutove od 90° i 270° nema efekta, dok je on maksimalan za kutove od 0° i 180°
- ako je MS u mirnom stanju, onda prima odaslanu frekvenciju, no ako se giba, tada zbog tog kretanja prima neku drugu frekvenciju koju izračunavamo po formuli:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

$v$  - brzina kretanja MS

$\lambda$  - valna duljina signala

$\theta$  - kut između vektora brzine MS i vektora odaslanog signala



## 18. FEDING, UZROCI, PODJELA

- feding je zapravo brza promjena amplitude u nekom kratkom vremenu ili na nekoj maloj udaljenosti, tako da ignoriramo gubitak snage signala na velikim udaljenostima
- uzrokovan je interferencijom između 2 ili više dolazećih signala sa različitim kašnjenjima
- takvi valovi su višestazni valovi, mogu imati znatne promjene u fazi i amplitudi na anteni prijemnika
- faktori koji utječu na feding:
  - višestazno širenje valova
    - brzina pokretne stanice tj. antene primatelja, dolazi do slučajne modulacije frekvencije kod različitih komponenti višestaznog vala
    - brzina okolnih objekata - dopplerov pomak se mijenja
    - prijenosni pojas signala - ako je veći od prijenosnog pojasa višestaznog kanala, primljeni signal će biti izobličen dok će snaga ostati ista
- vrste fedinga:
  - SPORI - mijenja impulsni odziv mnogo sporije nego sami signal
  - BRZI - kratkotrajno djelovanje, duboki feding, rasipanje frekvencije

## 19. GAUSSOV FEDING, ZNAČAJKE

- događa se prilikom kretanja MS na područjima oslabljenog prijemnog signala uslijed sjenjenja nekom preprekom, te dolazi do promjene srednje vrijednosti razine prijemnog signala
- takve promjene se primjećuju na većim prijeđenim razmacima, spore su i ne previše duboke
- postoji barem jedna LOS zraka
- zovemo ga Gaussovim fedingom zbog Gaussove krivulje gustoće vjerojatnosti, to je ujedno i spori feding

## 20. RAYLEIGH-OV FEDING, ZNAČAJKE

- javlja se u slučaju kada ne postoji izražena izravna zraka, već mnogo zraka otprilike slične amplitude, te potpuno slučajne faze koje se na prijemu vektorski zbroje
- to je tipičan NLOS scenarij sa višestaznim širenjem
- potreban je vrlo mali pomak za uočavanje fedinga, zna biti vrlo izrazit (do -40dB)
- zovemo ga Rayleighov feding zbog razdiobe ovojnice prijemnog signala koja se ravna po Rayleigh-ovoj razdiobi
- to je ujedno i brzi feding

## 21. RICE-OVA RASPODJELA, POJAM FAKTORA K

- u slučaju da pored velikog broja višestaznih komponenti postoji više ili manje izražena izravna zraka, nastaje složena raspodjela u kojoj se vektori nastali višestaznim širenjem pomiču u kompleksnoj ravnini za neku vrijednost
- ovo je slučaj Rice-ove raspodjele, koja može, u ovisnosti o faktoru K prijeći u Rayleigh-ovu ili Gaussovu raspodjelu
- za velike K raspodjela ima svojstva Gaussove raspodjele, za  $K=0$  prelazi u Rayleighovu, a Riceova se može koristiti kad je jedna zraka osjetno jača od ostalih

$$K = \frac{\text{Snaga u konstantnom dijelu}}{\text{Snaga u stohastičkom dijelu}} = \frac{s^2}{2\sigma^2}$$

## 22. DIVERZITI, VRSTE, UTJECAJ NA PRIJEM U RAYLEIGH-OVU KANALU

- predstavlja višestruki prijem jedne te iste informacije korištenjem dva ili više radio kanala
- osnovni cilj diverzitija je smanjenje učestalosti i dubine fedinga, a duboki feding svesti na mali postotak vremena
- vrste diverzitija:
  - prostorni (antenski) - koristi različitost statistike pojedinih staza propagacije u prostoru
    - ukoliko se promatraju barem 2 antene razmaknute za neki razmak D, vjerojatno je da će valovi koji dolaze na pojedine antene biti nekorelirani
  - frekvencijski - koriste se 2 ili više frekvencija unutar pojasa, koristi se 1 antena sa prijemom (slanjem) iste informacije na 2 ili više prijenosnih frekvencija koje moraju biti razmaknute toliko da svaka ima drugačiju statistiku fedinga
  - vremenski - odašilje se ista informacija u više vremenskih razmaka
    - zahtjeva 1 kanal i posebno pohranjivanje signala, te se primjenjuje na podatkovnim signalima gdje je dozvoljeno kašnjenje u prijenosu
  - polarizacijski - koriste se 2 ortogonalne polarizacije
  - kutni - različit kut dolaska fronte vala
  - višestazni - iskorištavaju se višestazne komponente
- ako pogledamo istu razinu signala u kanalu s Rayleighovim fedingom bez diverzitija u kanalu s Rayleighovim fedingom uz diverziti reda M, možemo uočiti da ovaj drugi signal uz istu razinu ima puno manji BER

## 23. PROPAGACIJSKI MODELI, OKUMURA-HATA MODEL

- propagacijski modeli služe za određivanje prigušenja vala
- prikazuju raspodjelu polja neke antene na nekom području
- DETERMINISTIČKI MODEL - koriste se jednadžbe koje opisuju propagaciju EM vala, vrlo je složena metoda i rijetko se koristi zasebno jer se okolina i pripadajući fizikalni procesi teško modeliraju
- EMPIRIJSKI MODEL - nastao na osnovu mjerenja na nekom određenom prostoru, uključuje karakteristike okoline
  - primjenjiv s dostatnom točnošću na sličnim prostorima onima na kojem su rađena mjerenja
- EMPIRIJSKO-DETERMINISTIČKI MODEL - kombinacija jedne i druge tehnike u cilju veće točnosti i manje ovisnosti o karakterizaciji okoline, primjenjivi su za sve tipove delija, često se koriste za mikro i piko ćelije
- empirijske krivulje koje se koriste pri projektiranju ćelijskih sustava dobivene su iz niza mjerenja propagacijskih gubitaka u urbanim i suburbanim sredinama (Okumura i suradnici - Tokyo i okolica 60-ih godina)
- krivulje su pretočene od Hate u niz izraza koji se koriste u projektiranju ćelijskih sustava
- ograničenja su:
  - frekvencija 150-1500 (3000) MHz
  - visina antene bazne stanice ht 30-200m
  - visina antene mobilne stanice hr 1-10m
  - raspon udaljenosti 1-100km
- model se temelji na podjeli okoline i prepreka u nekoliko osnovnih kategorija:
  - ruralno područje
  - suburbano područje
  - urbano područje

## **24. ZNAČAJKE I CILJ MODULACIJSKIH POSTUPAKA**

- postupak transformacije električnog signala koji nosi informaciju, radi njegove prilagodbe za prijenos
- translacija informaciju iz *osnovnog pojasa* u signal koji se nalazi u *pojasnom propustu* na višoj frekvenciji
- informacija u osnovnom pojasu je *modulacijski signal*, a signal u pojasnom propustu je *modulirani signal*
- cilj je prenijeti korisnu informaciju kroz određeni kanal uz ostvarivanje najbolje moguće kvalitete prijenosa
- prijenos je potrebno ostvariti uz što manje zauzeće RF spektra

## **25. VRSTE MODULACIJSKIH POSTUPAKA, OSNOVNI POJAS, PRIJENOSNI SIGNAL**

- vrste postupaka: - *analogni modulacijski postupak* - modulacijski signal je kontinuirana informacija (1G)
  - *digitalni modulacijski postupak* - modulaciju obavlja diskretni informacijski signal (2G, 3G)
- *osnovni pojas* opisuje signale koji se nalaze u frekvencijskom području od 0Hz do maksimalne frekvencije signala
- *prijenosni signal* - signal sinusnog oblika znatno više frekvencije s promjenjivim parametrima (amplituda, faza, frekvencija) ovisno o informaciji

## **26. VRSTE ZAPISA MODULACIJSKIH POSTUPAKA**

- *analitički zapis* - diskretna modulacija amplitude (4ASK) - informacija je sadržana u amplitudi
  - ovojnica signala nije konstantna
- diskretna modulacija faze (4PSK) - informacija sadržana u fazi
  - ovojnica signala je uobičajeno konstantna
- diskretna modulacija frekvencije (4FSK) - informacija sadržana u frekvenciji (derivacija faze)
  - ovojnica signala je uobičajeno konstantna
- *zapis u kompleksnoj domeni* - određenim manipulacijama s amplitudom i fazom fazora možemo dobiti bilo koji oblik moduliranog signala
  - kompleksna anvelopa je zapis moduliranog signala u osnovnom pojasu

## **27. MODULACIJSKI POSTUPCI U MOBILNIM KOMUNIKACIJAMA**

- BPSK (Binary Phase Shift Keying) - binarna diskretna modulacija faze
  - najjednostavnija PSK, koristi 1 bit po simbolu
  - moguća su 2 stanja relativne faze moduliranog signala, razmaknute su za  $180^\circ$
  - zbog toga je ovaj postupak izrazito otporan na šum jer je područje detekcije za jedan simbol cijela poluravnina
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) - svakom simbolu pridružena dva bita, u odnosu na BPSK se može ili udvostručiti brzina podataka (R) uz isti pojas (B) ili uz isti R prepoloviti B
  - nastaje zbrajanjem dva nezavisna BPSK signala pa je zato vjerojatnost greške ista jer se QPSK može promatrati kao dva ortogonalna BPSK
- offset QPSK - koristi se radi smanjenja fluktuacije amplitude moduliranog signala kod prijelaza u dijametralno suprotno stanje (umjesto max prijelaza od  $180^\circ$  kod OQPSK je  $90^\circ$ )
- $\pi/4$  QPSK - koristi se u MUP-u, HEP-u i mobilnim mrežama
  - modulirani signal ima smanjenu dinamiku promjene amplitude
  - iz jednog stanja se ide u susjedne pomakom za  $\pi/4$  ili  $3\pi/4$ , nikad se ne ide u dijametralno stanje
  - dosta se smanjuje promjena amplitude
- MSK (Minimum Shift Keying) - spada u modulacijske kontinuirane faze, a po obliku bi se mogao svrstati u FSK modulacije s 2 stanja frekvencije, koristi minimalan razmak frekvencija
  - spektar se nalazi točno između BPSK i QPSK signala
- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) - koristi se u GSM-u
  - MSK propušten kroz NP Gausov filter radi blažeg prijelaza faza
  - ima užu spektar i povećanu intersimbolnu interferenciju



## 28. POJAM AWGN KANALA, INTERSIMBOLNA INTERFERENCIJA

- najjednostavniji model kanala je AWGN (Additive White Gaussian Noise) kanal gdje je prisutan aditivni bijeli šum
- signal koji dolazi na ulaz prijemnika je pod utjecajem multiplikativnog prigušenja staze, bijelog šuma te sporog fadinga (zasjenjenja), takvim kanalom se može opisati mobilni sustav ukoliko isti nije u gibanju
- većina bijelog šuma dolazi uslijed samog prijemnika no jedan dio dolazi i od vanjskih interferencijskih izvora
- propusti li se pravokutni impuls kroz sustav konačne širine pojasa, impuls se oblikuje tako da se dio proširenog impulsa pojavljuje i u intervalima susjednih impulsa, ta pojava se naziva INTERSIMBOLNA INTERFERENCIJA

## 29. NYQUISTOV I KOSINUS-KVADRAT FILTAR

- ukoliko se sustavom (kanalom) prenose simboli brzinom  $R_s$ , tada pojas takvog sustava minimalno mora biti  $R_s/2$
- ukoliko je sustav idealan, to bi bio filter širine pojasa  $1/(2T_s)$
- idealni Nyquistov filter se ne može praktično realizirati, pa se koristi kosinus kvadrat filter

$$|H(j\omega)| = \begin{cases} 1 & 0 \leq \omega \leq \frac{\pi}{T_s}(1-\beta) \\ \cos^2 \left\{ \frac{T_s}{4\beta} \left[ \omega - \frac{\pi(1-\beta)}{T_s} \right] \right\} & \frac{\pi}{T_s}(1-\beta) \leq \omega \leq \frac{\pi}{T_s}(1+\beta) \\ 0 & \omega > \frac{\pi}{T_s}(1+\beta) \end{cases}$$

$T_s$  - vrijeme trajanja simbola  
 $\beta$  - faktor strmine filtra (između 0 i 1)

## 30. IZJEDNAČAVANJE SIGNALA

- u praksi odziv kanala (kanal se ponaša kao filter, uzrokuje ISI) na pobudu najčešće nije poznat, tako da prijemnik nije u stanju kompenzirati intersimbolnu interferenciju
- filteri koji kompenziraju ISI moraju imati promjenljive karakteristike koje se mijenjaju na osnovu saznanja o karakteristikama kanala. Proces takove korekcije je UJEDNAČAVANJE ili EKVILIZACIJA
- sklopovi se sastoje od digitalnih transversalnih filtera s promjenjivim odvojcima te blokovima za kašnjenje
- kašnjenje se najčešće uzima manje od vremena trajanja simbola  $T_s$

## 31. MSK MODULACIJA

- odlikuje se dobrom spektralnom učinkovitošću i konstantnom amplitudom, te se koristi pri većim brzinama
- dva simbola razlikuju se za jedan poluval sinusnih titraja
- simboli signala se nalaze na minimalnoj frekvencijskoj udaljenosti na kojoj se može postići ortogonalnost odgovarajućih sinusnih signala, otuda i naziv MSK (Minimum Shift Keying)
- unutar intervala jednog bita, trenutna faza MSK signala mijenja se za  $-\pi/2$  ili  $+\pi/2$  ovisno o binarnom znaku
- MSK je poseban slučaj OQPSK postupka
- spektar se nalazi točno između BPSK i QPSK signala

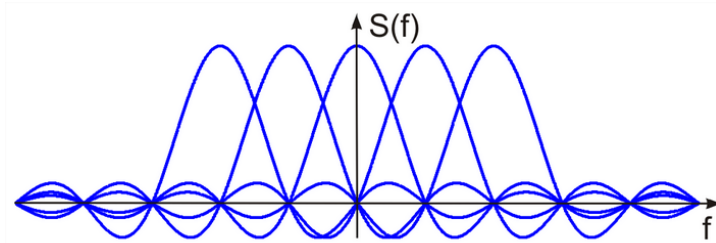
## 32. USPOREDBA MODULACIJSKIH POSTUPAKA

- kriterij odabira modulacijskog postupka gleda se prema *učinkovitosti spektra* i *učinkovitosti snage*
- najveća ostvariva spektralna učinkovitost ograničena je Nyquistovim teoremom minimalne širine pojasa i Shannonovim teoremom o kapacitetu kanala

Mod. postupak	Broj simbola	Br. stanja amplitude	Br. stanja faze	Biti po simbolu	$R_b/B$ , bit/s/Hz (idealna)	$E_b/N_0$ , dB (teorijski)	$E_s/N_0$ , dB (prakt.)
BFSK	2	1	—	1	1		13,5
BPSK	2	1	2	1	1	10,6	10,6
QPSK	4	1	4	2	2	10,6	13,6
8-PSK	8	1	8	3	3	13,8	18,6
16-PSK	16	1	16	4	4		25,5
16-QAM	16	3	12	4	4	14,5	20,5
32-QAM	32	5	28	5	5	17,3	24,0
64-QAM	64	10	52	6	6	18,8	27,0
256-QAM	256	34	84	8	8		33,0

### 33. OFDM, SVOJSTVA, SPEKTAR

- *serijsko odašiljanje* (1 nosioci) - ima intersimbolnu interferenciju
  - složeni izjednačivački sklopovi
- *paralelno odašiljanje* (više nosioca, simbol ima duže trajanje)
  - nema intersimbolnu interferenciju, mnogo
  - jednostavniji izjednačivački sklopovi u frekvencijskoj domeni
- ideja je serijski slijed podataka velike brzine razdijeliti na više paralelnih sljedova
- svaki od paralelnih sljedova manje je brzine (duže trajanje simbola) i on zasebno modulira jedan od više međusobno ortogonalnih nosilaca, gdje je OFDM njihov zbroj
- s obzirom na strukturu signala zaključujemo da se on može dobiti postupkom IDFT-a (inverzni Fourier)
- utjecaj višestaznog širenja suzbija se dodavanjem zaštitnog intervala na početak OFDM simbola
- trajanje OFDM simbola se tad povećava za iznos trajanja zaštitnog intervala
- zaštitni interval se dobiva cikličkim proširenjem signala, tj. preslikom zadnjeg djela OFDM simbola u trajanju zaštitnog intervala, a to proširenje se naziva cikličkim prefiksom OFDM simbola
- spektar moduliranog podnosioca je oblika  $\text{sinc}(x)$  i dobije se pomicanjem spektra modulacijskog signala za iznos  $f_{px}$  (frekvencija podnosioca)



### 34. POJAM ČELIJE I PONAVLJANJE FREKVENCIJA

- ćelijski koncept je riješio problem pokrivanja većih područja uz ograničene spektralne resurse, te omogućio veći kapacitet tako da umjesto jednog snažnog odašiljača koristi više odašiljača manje snage s puno manjim dometom
- ćelije su otisak dijagrama zračenja odašiljačkih antena
- ponavljanje frekvencijskih kanala ostvaruje potreban kapacitet sustava (izvan kritične udaljenosti IKI)
- skup ćelija kod kojih su iskorišteni svi frekvencijski kanali iz korištenog frekvencijskog pojasa naziva se GROZD
- osnovni cilj je skupiti ćelije u grozdove kojima se pokriva područje tako da interferencije (kojih uvijek ima) nikada ne prelaze prihvatljive granice
- broj ćelija se određuje preko formule  $N=i^2+j^2$
- najčešće korišten oblik ćelije je šesterokut

### 35. ISTOKANALNA INTERFERENCIJA, INTERFERENCIJA OD SUSJEDNOG KANALA

- ISTOKANALNA INTERFERENCIJA - interferencija 2 ćelije koje koriste isti skup frekvencija
  - jedino rješenje je postavljanje tih ćelija na udaljenost sa dovoljnom izolacijom
  - idealni slučaj je da budu na vrhovima jednakostraničnog trokuta
  - uz R (polumjer ćelije) i D (udaljenost interferirajuće ćelije) i N (broj ćelija u grozdu), povećanjem omjera  $D/R$  dobivamo sve veći razmak među ćelijama
- INTERFERENCIJA SUSJEDNOG KANALA - zbog nesavršenih antena i filtera u prijamniku dolazi do djelomičnog preklapanja susjednih kanala što smanjuje odnos C/I u željenom kanalu
  - manja je od interferencije istih kanala, može se minimizirati pažljivim filtriranjem i dodjeljivanjem kanala

### **36. SEKTORIRANJE ČELIJA**

- težimo povećati kapacitet sustava, a to nije moguće samo povećavanjem broja istih kanala među ćelijama
- faktor istokanalne interferencije ovisi o načinu sektorizacije, tj. broju sektora
- pobuda može biti centralna ili kutna
- sektoriranje centralne pobude je podjela ćelije na segmente s ciljem smanjenja IKI (istokanalne interferencije) i istovremenog povećanja kapaciteta
- imamo slučaj sektorizacije  $120^\circ \times 3$  i  $60^\circ \times 6$ , najpovoljnija sektorizacija je  $60^\circ$  jer u tom slučaju svakoj ćeliji smeta signal samo jedne istokanalne ćelije, dok kod sektorizacije  $120^\circ$  smeta signal od 2 istokanalne ćelije

### **37. PREKAPČANJE VEZE**

- događa se kad MS prelazi iz područja BS1 u BS2, tada se bez prekida veze sve usluge prebacuju na BS2
- točka prekapčanja se ne nalazi na pragu prijema, jer bi feding uzrokovao prekid veze
- potrebno odrediti optimalnu razinu signala na kojoj treba pokrenuti postupak prekapčanja
- posebno je definirana minimalna jačina signala koja je potrebna za održavanje veze
- postoje 2 vrste prekapčanja: - *hard handoff* - kanal u drugoj ćeliji preuzima signal MS tek kad ga izvorna otpusti
  - *soft handoff* - istovremeno korištenje oba kanala, drugi kanal se zauzima prije otpuštanja prvog
- za slučaj područja gdje se vozila brzo voze koriste se „kišobran“ ćelije koje imaju veliko pokrivanje, te sprečavaju nepotrebno konstantno prekapčanje i zagušenje

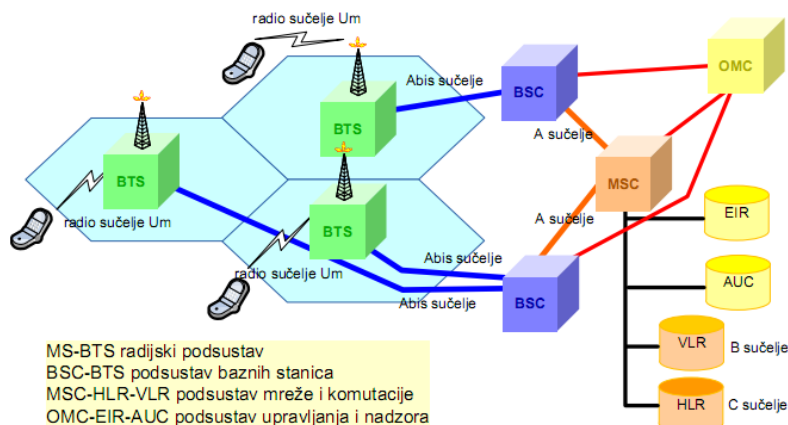
### **38. OSNOVNE POSTAKVE PROMETA, MODELI, TRUNKING EFEKT**

- pojedine mreže se razlikuju po prosječnom trajanju prometa (poslovne i privatne mreže imaju prosječno trajanje veze između 0,5 i 1min, a javne mreže oko 3 min)
- mjera prometa je 1 Erlang što označava zauzeće kanala 1 puni sat
- TRUNKING SUSTAV - sustav koji se po potrebi iznajmljuje pojedinim korisnicima
  - trunking efekt se javlja kada je broj korisnika nekog sustava veći od resursa sustava
  - s obzirom da je zauzetost sustava statička veličina, mala je vjerojatnost da će svi korisnici odjednom koristiti resurse, na taj nalin se povećava korisnost uz rizik dužih čekanja u vrijeme povećanog prometa
  - prednosti: - povećana spektralna efikasnost (jedna frekvencija-više kanala)
    - automatizirana uspostava veze
    - lagano proširenje sustava
    - gubitak kanala ne znači prekidanje veze, samo smanjenje kvalitete

### **39. OSNOVNE ZNAČAJKE FIZIČKOG SLOJA GSM SUSTAVA**

- frekvencijska područja: 900MHz (2x25MHz, 45MHz dupleks razmak), 1800MHz (2x75MHz, 95MHz razmak)
- koristi FDMA/TDMA višestruki pristup
- koristi ćelijsku strukturu
- vremenski odsječak traje 0,577ms, a vremenski okvir 4,615ms
- svakoj frekvenciji pridružen je vremenski okvir od 8 vremenskih odsječaka
- GMSK modulacija

#### 40. BLOKOVSKA ORGANIZACIJA GSM SUSTAVA



MS - (Mobile Station) mobilna stanica

BTS - (Base Transceiver Station) bazna stanica - jedinica kojoj su pridruženi radio-kanali za dotičnu ćeliju

BSC - (Base Station Controller) - upravlja sa BTS ili više njih kontrolira pridjeljivanje kanala i prekapčanja

MSC - (Mobile Services Switching Center) - upravlja s više BSC-ova nadzire pozive drugih telefonskih i podatkovnih sustava (PSTN, ISDN...)

OMC - (Operations and Maintenance Center) - pregled cijele mreže

EIR - (Equipment Identity Register) - registar koji sadrži sve specifične informacije o uređajima

AUC - (Authentication Center) - centar za određivanje pretplatnikovih podataka brine o sigurnosti i šifriranju

VLR - (Visitors Location Register) - registar koji sadrži informacije o svim pretplatnicima u području dotične MSC

HLR - (Home Location Register) - sadrži podatke o pretplatnicima i uslugama vezanim uz njih sadrži informaciju o položaju MS koju dobije preko MSC/VLR-a koja se stalno mijenja ako se MS kreće

#### 41. VRSTE VREMENSKIH ODSJEČAKA U GSM SUSTAVU, PRIJEM I SLANJE VREMENSKIH ODSJEČAKA

**NORMALNI** →



- T-3 - logičke nule koje služe za razdvajanje vremenskih odsječaka, zaštitno vrijeme za utitravanje odašiljačke snage

- CD-57 - korisničke informacije ili signalizacija između BS i MS

- S-1 - bit koji označava je li CD informacija ili signalizacija

- TS-26 - pokusni niz (jedan od 8 mogućih) koji služi za namještanje koeficijenata digitalnog filtra u MS s ciljem kompenzacije posljedica višestaznog širenja

- GP-8,25 - zaštitni period od 30,44 us

**SLUČAJNI PRISTUP** →



- T-8, T-3 - logičke nule za razdvajanje vremenskih odsječaka, zaštitno vrijeme za utitravanje odašiljačke snage

- SS-41 - niz bitova za sinkronizaciju, u osnovi isti kao pokusni niz ali je mnogo dulji jer se radi o uspostavi nove veze (adaptivno vrijeme je mnogo dulje)

- CD-36 - razmjena informacija između MS i BS vezanih za uspostavljanje veze

- GP-68,25 - zaštitni period od 252 us odgovara kašnjenju duž najdulje moguće staze od bazne do mobilne stanice i nazad (oko 75,5km) što daje maksimalni radijus ćelije 37,75km



- T-3 - startni bitovi (logičke nule) za razdvajanje vremenskih odsječaka, zaštitno vrijeme za utitravanje odašiljačke snage
- CD-39 - bitovi za izmjenu podataka između BS i MS
- SS-64 - niz za sinkronizaciju
- GP-8,25 - zaštitni period od 30,44 us



- T-3 - logičke nule za razdvajanje vremenskih odsječaka
- Stalna sekvenca 142 - konstantni modulirani signal kojim se određuje korekcija frekvencije
- GP 8,25 - zaštitni period od 30,44 us



- ne nosi informaciju
- služi za održavanje takta

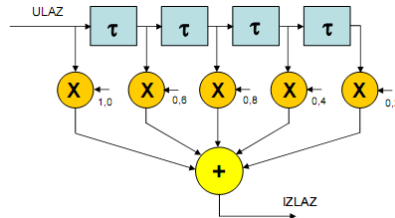
- vremenska razlika u odašiljanju i prijemu vremenskih odsječaka u uzlaznoj i silaznoj vezi je 3 odsječka
- ovisno o udaljenosti MS i BS mora se uračunati veće ili manje vremensko kašnjenje da bi se zadržala sinkronizacija odsječaka

#### 42. KODIRANJE GOVORA, KONCEPT ISPREPLITANJA U GSM-U

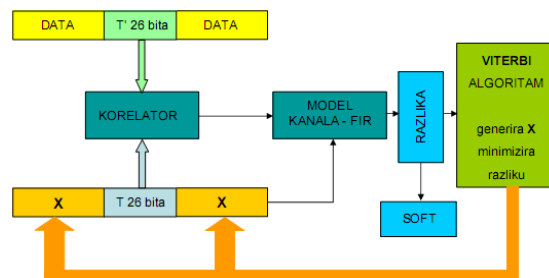
- pri razvoju GSM-a proučavalo se nekoliko algoritama za kodiranje govora gdje se zahtijevala što bolja kvaliteta govora, što manja složenost sklopovlja, niska cijena i mala potrošnja, za to je odabran LPC-LTP-RPE (Linear Predictive Coding, Long Term Prediction, Regular Pulse Excited)
- kodira se razlika između stvarnog govora i sintetiziranog govora pomoću niza FIR filtera koji služe kao simulatori za glasovni sustav
- govor se dijeli uzorke od 20ms gdje se svaki kodira sa 260, pa dobivamo najveću brzinu od 13kbps
- LPC - govor se sintetizira pomoću buzzera sa povremenim hiss i pop zvukovima, stvara dobru aproksimaciju stvarnog govora
  - miče formante iz signala govora i procjenjuje frekvenciju i jačinu preostalog buzzera, a ostatak je ono što preostane kada se oduzme modulirani filtrirani signal od pravog, to nazivamo *inverznim filtriranjem*
- LTP - služi za smanjivanje količine podataka koja se prenosi između BS i MS
  - kada se kvantizira određeni uzorak govora, interna logika MS-a predviđa sljedeću razinu, a BT šalje samo grešku (razliku između prave i predviđene vrijednosti)
- kod GSM sustava se iskorištavaju pauze u govoru, pa se uvodi VAD (Voice Activity Detector) pomoću kojeg se smanjuje interferencija budući da antena ne odašilje signal tijekom pauza
- ispreplitanje se uvodi iz razloga da ne izgubimo određeni broj bitova ili riječi uslijed fedinga, jer je tada nemoguće dekodirati primljenu informaciju
- radi na način da se stvaraju novi okviri sastavljeni kao matrica 8x57 koja se puni horizontalno, a čita vertikalno
- ako dođe do fedinga, on će oštetiti komad okvira, pri čemu se neće izgubiti puno susjednih bitova u originalnom okviru
- GSM koristi dvostruko ispreplitanje čime smanjuje gubitak informacije jednog odsječka sa 35% na 12,5%
- problem je što moramo čekati da primimo sve bitove za iščitavanje informacije
- to čekanje povećava kašnjenje, pa se ne ide iznad dvostrukog ispreplitanja

#### 43. ISI U GSM SUSTAVU, VITERBI POSTUPAK IZJEDNAČAVANJA

- osnovni uzrok ISI-a je višestazno širenje EM vala, tj. do prijemnika dolaze vremenski pomaknute replike prijemnih okvira što dovodi do jakog ISI-a
- što je rasipanje veće, to je koherencijski pojas uži i dolazi do vrlo izraženog selektivnog fedinga
- prijenosni kanal se može simulirati filtrima sa serijskim elementima za kašnjenje, a simulacija ovakvim filtrima može pomoći u restauraciji oštećenog prijemnog niza
- realni filtri imaju 10-ak elemenata za kašnjenje što je dovoljno za prikaz kanala u uvjetima jake refleksije (GSM ima 4 elementa)



- VITERBI - pokusni niz od 26 bitova kojeg znaju i BS i MS
  - prijemnik prima pogrešni pokusni niz  $T'$ , korektor namješta koeficijente FIR filtra kojim se pokušava simulirati impulsni odziv kanala, te na temelju toga ekvilizatorski niz generira nizove od kojih se preko pokusnog niza  $T$  traži najmanja razlika
  - ako se to postigne, računa se da je generirani niz najbližiji poslanom
  - u stvarnosti postoji mnogo kombinacija, ali viterbi algoritam odbacuje malo vjerojatne kombinacije, pa ostaje oko 10% kombinacija koje se mogu analizirati u stotinjak iteracija



#### 44. PRIJELAZNI SUSTAVI KA TREĆOJ GENERACIJI, OSNOVNE ZNAČAJKE

- 3G sustavi moraju pružati sve što i 2G uz dodatne usluge, maksimalno učinkovito korištenje spektra, povećanje brzine prijenosa (glavni problem GSM-a je mala brzina prijenosa)
- GPRS - bežična komunikacija podatkovnim paketima, zasniva se na komutaciji paketa
  - brzine od 56 do 114kb/s, no stvarne brzine su oko 33kb/s
  - naplata se vrši po ostvarenom prometu
  - nudi prijenos govora, podataka i multimedije uz stalnu vezu s internetom
  - koristi GMSK modulaciju (1 znak = 2 bita)
- EDGE - dodana 8-PSK modulacija (1 simbol = 3 bita), predviđen za mikroćelijske strukture, omogućeno prekapčanje između EDGE i ostalih sistema i roaming prema 3G sustavima
  - vremenski odsječci se mogu koristiti na istom nosiocu sa odsječcima ostalih standarda
  - veza se optimizira prema opterećenju mreže, kvaliteti kanala i potrebi korisnika
  - realne brzine od 160 do 230kb/s

#### **45. PRIVATNI MOBILNI SUSTAVI, ZNAČAJKE TETRA SUSTAVA**

- privatni mobilni sustav predstavljaju najstariji oblik komunikacijskog sustava, ali danas nisu jako zastupljene
- prvenstvena zadaća je uspostava veze između nekog MS-a i disponenta, korisnika privatnog komutacijskog čvora ili korisnika javne telefonske mreže
- osiguravaju brzu uspostavu veze, karakterističan velik broj poziva kratkog trajanja
- frekvencijsko područje smješteno na dijelove spektra na kojem su djelovale analogne FM komunikacije
- vrste poziva: - privatni pozivi (između 2 korisnika iste razine)
  - grupni poziv (između korisnika iste grupe)
  - skupni poziv (između korisnika svih grupa unutar jedne skupine)
  - generalni poziv (između bilo kojih korisnika unutar sustava)
- TETRA - koristi TDMA s 4 logička kanala, 25kHz RF pojas,  $\pi/4$ -DQPSK modulaciju
  - govor koristi 1 vremenski odsječak, dok podaci mogu koristiti sva 4, mogu se slati istovremeno
  - govor se kodira ACELP koderom, a maksimalni tok je 36kb/s
  - nema prekapčanja, već se koristi brza obnova veze, te ima vrlo brzo vrijeme postavljanja (300ms)
  - 3 načina rada: - normalan rad preko BS
    - izravna komunikacija bez BS
    - drugi MS se koristi kao repeater
  - MS se u svakom području mora ponovo registrirati
  - 4 kategorije pristupa: - normalni mod - najzastupljeniji, koristi 4-5 nosioca na svakoj lokaciji
    - prošireni mod - više od jednog kontrolnog kanala
    - minimalni mod - jedan nosilac, kod sustava s relativno malim prometom, svi odsjeci su prometni
    - mod zajedničkog korištenja - nosilac se dijeli s određenim brojem BS-a, posebno pogodno za područje niskog prometa

#### **46. USPOREDBA FIZIČKIH SLOJEVA 3G I GSM SUSTAVA**

- 3G sustavi imaju mnogo veće brzine od GSM sustava (3G - 2Mb/s, GSM - 10kb/s)
- GSM sustavi imaju fiksnu brzinu kod male i velike mobilnosti (pokrivanja), dok 3G imaju veće brzine pri maloj mobilnosti, a manje brzine pri velikoj mobilnosti
- GSM radi na nižim frekvencijama od 3G sustava
- GSM koristi FDMA/TDMA višestruki pristup, dok 3G koristi CDMA

#### **47. SUSTAVI S PROŠIRENIM SPEKTROM, POSTAVKE, PRIMJER**

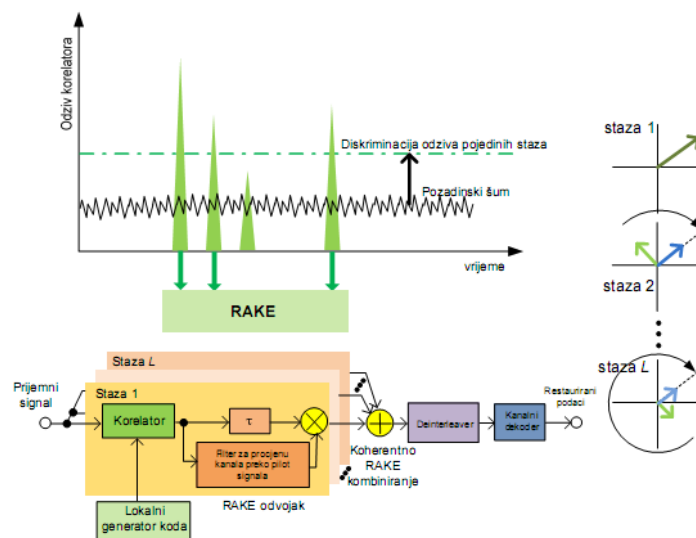
- u širokopojasnim sustavima je cijeli pojas na raspolaganju pojedinom korisniku, iako je mnogo širi od prirodnog frekvencijskog područja
- zbog većeg RF pojasa mogu se razlučiti pojedine vremenske replike signala i to iskoristiti kao vremenski diverziti u RAKE prijemniku
- imaju veliku otpornost prema interferenciji, a frekvencijsko planiranje je uvelike olakšano
- analizirajući Shannonov izraz za kapacitet, vidljivo je da se on može maksimizirati povećanjem pojasa ili snage
- primjer je CDMA višestruki pristup koji radi na principu specifičnog koda gdje više korisnika koristi isti frekvencijski kanal, a informacije su kodirane ortogonalnim kodovima
- obzirom da CDMA sustavi rade sa mnogo većim pojasom nego što je prirodni, moguće je komunicirati uz izrazito nizak odnos signala prema šumu

#### 48. WCDMA BEŽIČNO SUČELJE, KODOVI

- WCDMA je širokopojasna varijanta CDMA pristupa s brzinom podimpulsa od 3,84Mcp/s
- u kanalu postoje višestruki mobilni korisnici koje je potrebno razlikovati pomoću kodova za proširenje
- korisnici šalju istovremeno korisne i kontrolne podatke koje je na mjestu prijema potrebno razdvojiti
- da bi se to postiglo, WCDMA koristi 2 odvojena procesa prilikom odašiljanja podataka za pojedinog korisnika
- nizovi podataka se prvo prošire na nominalnu brzinu podimpulsa koristeći kanalizirajuće kodove
- kombinacija tih kodova se šifrira posebnim kodom koji više ne proširuje pojas jer su brzine kombinacije kodova i koda jednake
- na prijemnoj strani se prvo niz dešifrira pomoću koda za šifriranje, te se primjenom pojedinih kanalizirajućih kodova razdvajaju pojedini nizovi podataka
- kodovi - kodovi za kanaliziranje - generiraju se preko kodnog stabla koristeći se algoritmom za generiranje
  - ukoliko se prenosi više od 1 kanala, kodovi moraju biti ortogonalni
  - kodovi nastali od nekog izvornog koda u stablu nisu ortogonalni, dok su kodovi u različitim granama istog faktora ortogonalni
- kodovi za šifriranje - trebali bi biti pseudoslučajni, generiraju se preko niza posmačnih registara s linearnom povratnom vezom, a postoje dugi i kratki
- trebaju biti tipa max duljine niza i njihova duljina je  $2^m - 1$  ako ima m registara

#### 49. RAKE PRIJEMNIK

- koristi se u CDMA sustavu, sastoji se od nekoliko paralelnih procesnih jedinica („prstiju“) koji zasebno obrađuju svaki signal koji dođe do prijemnika uz određeno relativno kašnjenje
- razdvajanje signala koji uslijed višestaznog širenja dođu na prijemnik vrši se u usklađenom filtru
- signal se tada vodi na grane za kašnjenje i filtra za procjenu kanala, tu se obrađuje svaka od komponenti
- potom signal ide na sklop koji radi suprotno od ispreplitanja tako da dobijemo izvorni oblik informacije koji se dekodira Viterbi dekodeom
- diskriminacija signala vrši se na osnovi kvalitete, zato ti prijemnici omogućuju nekoliko prekapčanja među ćelijama



#### 50. TEMELJNA OBILJEŽJA LTE-a

- značajnije poboljšanje preformansi u širokom rasponu mogućih frekvencijskih područja
- korak prema 4G
- značajno povećanje vršnih brzina prijenosa (100Mbit/s u silaznoj i 50Mbit/s u uzlaznoj vezi)
- mogućnost za kašnjenje u radijskoj pristupnoj mreži ispod 10ms
- podržava FDD i TDD način rada, prijenos podataka temelji se na OFDMA u silaznoj i SC-FDMA u uzlaznoj vezi, optimiran za paketski prijenos podataka, dodjeljivanje resursa vrši se ovisno o stanju u kanalu



#### **51. USPOREDBA CDMA I OFDMA, PREDNOSTI I MANE**

- prednosti OFDM - može se prilagoditi na različite širine kanala
  - otporan na posljedice višestaznog širenja
  - jednostavnija izrada ekvalizatora u prijemniku
- nedostaci OFDM - osjetljivost na Dopplerov pomak
  - osjetljivost na fazni šum
  - velike razlike između vršnih i srednjih signala

**NE ODGOVARAM ZA EVENTUALNE POGREŠKE U DOKUMENTU,  
KAO NI ZA TOČNOST NAVEDENIH ODGOVORA**

**SRETNOST NA USMENOM! 😊**

**RABBIT16<sup>©</sup>**