

## MODULACIJE U MOBILNIM KOMUNIKACIJAMA

- MODULACIJA** - 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
  - postoje *analogni* (modulacijski signal je kontinuirana informacija) i *digitalni* (modulaciju obavlja diskretni informacijski signal)
  - osnovni pojas - opisuje signale koji se nalaze u frekvencijskom području od 0Hz do max frekvencije signala
  - prijenosni signal - sinusni oblik, znatno više frekvencije, promjenjivi parametri (amplituda, faza, frekvencija)
  - **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
  - najjednostavniji model kanala je AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) kanal gdje je prisutan aditivni bijeli šum
  - većina bijelog šuma dolazi uslijed samog prijemnika, no jedan dio dolazi i od vanjskih interferencijskih izvora
  - u praksi odziv kanala na pobudu najčešće nije poznat, pa prijemnik nije u stanju kompenzirati intersimbolnu interferenciju
  - filtri koji kompenziraju intersimbolnu interferenciju moraju imati promjenjive karakteristike koje se mijenjaju na osnovu saznanja o karakteristikama kanala, proces takve korekcije se zove *ujednačavanje* ili *ekvilizacija*
  - modulirani signal zauzima dvostruko šire područje od onog u osnovnom pojasu, pa je zato spektralna učinkovitost duplo manja u odnosu na onu u osnovnom pojasu frekvencija
  - **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)**
    - *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

## OSNOVNE CJELINE MOBILNIH SUSTAVA, ČELIJE

- ćelijski koncept je riješio problem pokrivanja većih područja uz ograničene spektralne resurse, te omogućio veći kapacitet
- umjesto jednog snažnog odašiljača, koriste se više odašiljača manje snage s mnogo manjim dometom
- ćelije su otisak dijagrama zračenja odašiljačkih antena
- skup ćelija kod kojih su iskorišteni jednom svi frekventijski kanali iz korištenog frekventijskog pojasa naziva se **grozd**
- razlog grupiranja ćelija u grozdove leži u činjenici da se prostorno ne mogu graničiti ćelije sa jednim ili više istih kanala zbog jake *istokanalne interferencije* koja bi se javila u tom slučaju
- pri planiranju pokrivanja, ćelija je predstavljena geometrijskim oblikom najbližijim stvarnom, te koji omogućava cjelovito pokrivanje bez preklapanja ili nepokrivenih dijelova, najpogodniji oblik je *šesterokut*
- **fiksno pridruživanje kanala ćelijama** - svakoj ćeliji se unaprijed odrede kanali što zahtijeva pažljivu analizu prometa
  - sustav je jednostavan za korištenje, ali neefikasan u slučajevima neravnomjernog opterećenja prema planiranom (koristi se u GSM sustavu)
- „**posuđivanje**“ kanala - u slučaju pojačanog opterećenja pojedine ćelije, posuđuju se kanali od ćelija s manjim opterećenjem, ali se javlja moguć problem interferencije
- **dinamičko pridruživanje kanala** - za svaki poziv ostvaren u mreži zahtijeva se kanal od mobilnog komutacijskog centra
  - mobilni komutacijski centar mora uzeti u obzir istokanalni razmak, te potencijalno blokiranje poziva
  - prednost je bolje iskorištavanje frekventijskih resursa i manja vjerojatnost blokiranja
  - mana je veliko dodatno opterećenje mobilnog komutacijskog centra
- mjera prometa 1 Erlang označava zauzeće 1 radio kanala 1 puni sat
- **trunking sustav** - sustav koji se prema potrebi iznajmljuje pojedinim korisnicima
  - trunking efekt se očituje kad određeni broj korisnika ima potencijalni pristup komunikacijskim resursima koji su manji nego što je broj korisnika
  - povećana spektralna efikasnost s obzirom da jednu frekvenciju može koristiti više korisnika nego kod sustava s fiksnim dodjeljivanjem frekvencija, uspostava veze je automatizirana tako da sustav pridjeljuje korisniku slobodnu frekvenciju pri pojavi slobodnog kanala, kod gubitka kanala iz skupa, veze se ne prekidaju nego se smanji kvaliteta usluge zbog manjeg broja kanala, sustav se relativno lako proširuje tako da su dodani kanali dostupni svim korisnicima

## MOBILNI SUSTAVI DRUGE GENERACIJE, GSM

- osnovne usluge su: telefonija, kratke poruke, telefaks, prijenos podataka (sinkroni, asinkroni, komutacija paketa), te dodatne usluge (prikaz broja, poziv u čekanju, konferencijski poziv...)
- frekventijsko područje koje se koristi je 890-960MHz i 1710-1880MHz
- kratice i objašnjenje osnovnih pojmova u GSM-u pogledajte na slajdovima 7 i 8 u 9. Presentaciji
- vremenska razlika u odašiljanju i prijemu vremenskih odsječaka u uzlaznoj i silaznoj vezi je tri odsječaka
- kontrolni kanali: - **BCH (Broadcast Channels)** - daje mobilnim stanicama podatke na temelju kojih se uključuju u mrežu
  - **CCCH (Common Control Channels)** - služe za uspostavljanje jednoznačne veze bazne stanice s mobilnom
    - na tim se kanalima odvija dogovor o uspostavljanju veze, inicira ga bazna ili mobilna stanica
  - **DCCH (Dedicated Control Channels)** - služe za izmjenu poruka bazne i određene mobilne stanice

## **PRIJELAZNI SUSTAVI KA TREĆOJ GENERACIJI**

- **komutacija kanala** - prilikom uspostavljanja veze između korisnika određuje se prijenosni put kroz mrežu s pripadajućim mrežnim čvorovima, taj put je fiksni i ne može se mijenjati, te prijenos ne može započeti dok nije uspostavljen cijeli prijenosni put
  - nefleksibilna na nagle promjene u brzini prijenosa, ukoliko se javi potreba za mnogo većom brzinom od trenutne, sustav to nije u stanju ispuniti mada teoretski postoji susjedni kanal koji bi mogao udovoljiti zahtjevu za komunikaciju većeg obujma
  - korisnike se tereti za vrijeme trajanja veze bez obzira što postoje mnoge pauze u komunikaciji
- **komutacija paketa** - na izvoru se informacijski niz razdvaja u pakete tako da svaki paket dobije određenu adresu
  - paketi se prenose etapno od čvora do čvora tako da ne zauzima odjednom cijeli put
  - ukoliko postoji zauzeće pojedinih čvorova, paketi čekaju određeno vrijeme (promjenjivo kašnjenje)
  - postupak nije pogodan za prijenos govora
  - korisnike se tereti samo za preneseni informacijski volumen, a ne za vrijeme trajanja veze
- **GPRS (*General Packet Radio Service*)**
  - bežična komunikacija podatkovnim paketima, nudi teoretske brzine od 56 do 114kb/s, te kontinuiranu vezu s internetom za mobilne korisnike i korisnike računala
  - zasniva se na komutaciji paketa, što omogućava dobru kooperativnost s ostalim paketnim sustavima
  - teoretska brzina je 171,2kbit/s ukoliko se koriste svih 8 vremenskih odsječaka
  - stvarna brzina je u prosjeku 33kb/s sa CS2 kodnom shemom (zaštita podataka)
- **EDGE (*Enhanced Data Rates for Glogal Evolution*)**
  - predviđen za mikroćelijske strukture, omogućeno prekapčanje između EDGE i ostalih sustava
  - EDGE vremenski odsječci te odsječci ostalih standarda mogu se koristiti na istom nosiocu
  - omogućen roaming prema 3G sustavima
  - veza se optimizira prema opterećenju mreže, kvalitete kanala potrebama korisnika
- **DECT 1 (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*)**
  - standard se odnosi na cijeli niz mogućih aplikacija: privatni bežični telefoni, bežični uredski telefoni, sustavi za javne komunikacije, bežični LAN...
  - može se sastojati od nekoliko baznih i mobilnih stanica, a BS je najčešće vezana na javnu mrežu
  - domet od bazne stanice je u prosjeku 200m, no može se proširiti i do 1000m
  - posjeduje DCS tako da je moguće fleksibilno pridruživanje kanala koje MS može sama birati
  - svaki uređaj analizira kanale koji se trenutno ne koriste, pa se isti mogu pridijeliti MS-u kao povoljniji
  - da bi se osigurao pristup različitim mrežama, unutar DECT sustava se stvaraju aplikacijski profili koji sadrže protokole za bežična sučelja koji bi trebali omogućiti održavanje različitih aplikacija i međudjelovanje različitih uređaja
  - koristi TDMA na frekvenciji od 1880-1900MHz

## TETRA

- prvenstvena zadaća profesionalnih (privatnih) mobilnih komunikacija (PMR) je uspostava veze između nekog mobilnog terminala i korisnika privatnog komutacijskog čvora ili korisnika javne telefonske mreže
- PMR osigurava brzu uspostavu veze za komunikaciju između 2 korisnika ili grupe korisnika
- karakterističan je veliki broj poziva koji u prosjeku kratko traju, uključeni su i privatni selektivni pozivi
- frekvenzijsko područje ovisi o regulativi pojedinih zemalja, no ono je prvenstveno smješteno na dijelove spektra na kojem su djelovale analogne FM komunikacije (403-470MHz, te 520-540MHz)
- pokrivanje na tim frekv. je u radijusu od nekoliko desetaka kilometara uz neku prosječnu snagu bazne stanice reda 20W
- moguće međusobno povezivanje korisnika ravnajući se određenim hijerarhijskim pravilima (*privatni pozivi* između 2 korisnika iste razine, *grupni pozivi* između korisnika iste grupe, *skupni poziv* između korisnika svih grupa unutar skupine, te *generalni poziv* između bilo kojih korisnika unutar sustava)

### - TETRA (*Trans European Trunking RAdio*)

- 4:1 TMDA, 4 logička kanala, 25kHz RF pojas,  $\pi/4$  DQPSK modulacija, max prijenosni tok 36kbit/s
- govor koristi samo jedan vremenski odsječak dok podaci mogu koristiti sva četiri
- govor i podaci se mogu slati istovremeno u različitim vremenskim odsječcima
- **normalni mod** - najzastupljeniji, koristi se od 4 do 5 nosilaca na svakoj lokaciji
  - prvi vremenski odsječak osnovnog nosioca čine kontrolni kanali, a sve MS koje nisu u pozivu slušaju taj kanal
- **prošireni mod** - u velikim sustavima je potreban više od jednog kontrolnog kanala
  - zajednički sekundarni kontrolni kanal se odašilje samo određenom skupu korisnika
- **minimalni mod** - koristi se kod sustava s relativno malim prometom
  - svi odsjecci glavnog nosioca su predviđeni za prometne kanale
- **mod zajedničkog korištenja** - nosilac se dijeli s određenim brojem BS i koristi se samo s povremeno
  - posebno pogodno za područje izrazito niskog prometa
- **trunked repeater mode** - u ovom modu MS koristi infrastrukturu sustava, tj. BTS i mrežu
- **direct (talkaround) mode** - MS u istoj lokacijskoj zoni može komunicirati s drugim MS-om bez BS
- **gateway mode** - MS služi kao pokretni repeater prosljeđujući poruke sustavu od lokalnih mobilnih uređaja koje komuniciraju u izravnom modu, što osigurava proširenje pokrivanja MS-a

## 3G

- potrebno je osigurati cjelovito pokrivanje servisnog područja sa brzinama protoka 384kb/s za cijelo, te 2Mb/s za lokalno područje, korištenje radio spektra mora biti maksimalno efikasno i mora se osigurati fleksibilno proširenje pojedinih usluga sa druge na treću generaciju
- FDMA je koristio frekvenzijske kanale radi smanjenja interferencije sa malim tehnološkim zahtjevima na sustav, no mana je bila otežan rad u uvjetima jake interferencije i nefleksibilnoj promjeni brzine protoka informacije
- TDMA je sustav kod kojeg je svakom vremenskom odsječku pridružen određen korisnik, daleko je fleksibilniji, te zahtjeva preciznu sinkronizaciju uz veliku količinu kompleksne obrade signala
- neke slabosti uskopojasnih sustava dale su prostor za razvoj širokopojasnih sustava
- **CDMA** - pristup na osnovu specifičnog koda gdje više korisnika može koristiti jedan te isti frekvenzijski kanal, a različite informacije su kodirane posebnim ortogonalnim kodovima
  - ovaj pristup ima sve značajke sustava s proširenim spektrom, koristi li se isti kanal za prijenos informacija različitih brzina, tada se koriste kodovi promjenjive duljine tako da je, bez obzira na inicijalnu brzinu u osnovnom pojasu, rezultirajući prošireni spektar uvijek iste širine
  - dobra otpornost na uskopojasne smetnje

- **WCDMA** - širokopojasna varijanta CDMA pristupa s brzinom podimpulsa 3,84 Mcp/s (megachipa u sekundi)
  - u kanalu postoje višestruki mobilni korisnici koje je međusobno potrebno razlikovati, a to se postiže sa specifičnim kodovima za proširenje
  - korisnici šalju istovremeno korisne i kontrolne podatke koje je na mjestu prijema isto tako potrebno razdvojiti
  - da bi se sve to moglo postići, WCDMA koristi dva odvojena procesa prilikom odašiljanja podataka za pojedinog korisnika, na prijemnoj strani se prvo niz dešifrira pomoću koda za šifriranje te se primjenom pojedinih kanalizirajućih kodova razdvajaju pojedini nizovi podataka
- **kodovi za kanaliziranje** - generiraju se preko kodnog stabla koristeći se algoritmom za generiranje
  - ukoliko se prenosi više nego jedan kanal, kodovi moraju biti ortogonalni
- **kodovi za šifriranje** - trebali bi biti pseudoslučajni (što kanalizirajući kodovi nisu) i oni se generiraju najčešće preko niza posmačnih registara s linearnom povratnom vezom, postoje dvije podvrste: dugi i kratki
- vanjska kontrola snage je povezana s postavljanjem izlazne snage terminala na određenu razinu, koristi se pri prvom pristupu mreži, a u normalnim uvjetima tolerancija snage je  $\pm 9$  dB ili  $\pm 12$  dB za ekstremne uvjete

### **MOBILNI ŠIROKOPOJASNI PRISTUP**

- **HSPA (*High Speed Packet Access*)** - evolucija 3G/WCDMA, postupno povećavanje preformansi uz male dodatne troškove
- **LTE (*Long Term Evolution*)** - 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
- 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