

9. UVOD U RADIOMOBILNU TELEFONIJU

Radiomobilna telefonija je u proteklih dvadesetak godina na cjelokupnom svjetskom telekomunikacijskom tržištu opravdano postigla epitet najrentabilnije eksponencijalno rastuće telekomunikacijske usluge. Razlog u ovome leži u tome što je mobilni telefon postao pristupačan običnom čovjeku i dijelom njegovih dnevnih aktivnosti.

Mogućnost neprekidnog kontakta sa okolinom, bez obzira gdje se čovjek nalazi, postao je novi cilj razvoja radiomobilne telefonije. Gledano u ne tako davnu prošlost, prije dvadesetak godina u svijetu je pušteno u eksploataciju nekoliko radiomobilnih telefonskih sustava, koji su se bazirali na različitim standardima.

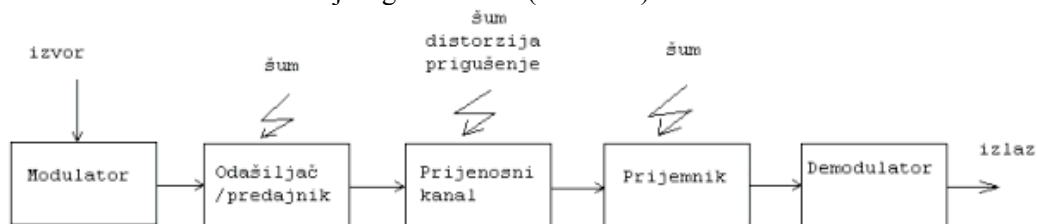
Prvi među njima bio je NMT 1979. godine. Ovaj standard je tada prihvaćen od strane nordijskih zemalja, a danas je prisutan u još tridesetak zemalja Europe i Azije. Nešto kasnije za područje Velike Britanije razvijen je sustav TACS, koji je danas u primjeni u nekoliko zemalja Europe, Srednjeg i Dalekog Istoka. Američke telekomunikacijske tvrtke realizirale su AMPS sustav za svoje područje, a sustav je danas u upotrebi u Australiji i Novom Zelandu.

Bliska povijest razvoja radiomobilne telefonije u Europi, mora dodirnuti i 1988. godinu kada je u praksi trebao biti realiziran paneuropski radiomobilni sustav na osnovama NMT sustava. Do spomenutog sporazuma nije došlo, ali je u kasnim 80-tim razvojem digitalne radio tehnologije postala osnova GSM sustava koji danas pruža pretplatnicima telekomunikacijske usluge diljem svijeta

9.1. Radiokomunikacijski sustavi

Bežični ili radio prijenos implicira prenošenje informacije s jednog mjesta na drugo putem elektromagnetskog vala koji putuje kroz prostor. Elektromagnetski valovi imaju različite osobine koje ovise o njihovoj frekvenciji i mediju kroz koji se šire. Mikrovalovi, koji su reda GHz imaju tendenciju da ne preskaču prepreke poput zidova, prirodnih zapreka, različitih građevina itd. Suprotno od tog, ekstremno niske frekvencije radio valova ili one opet koje su reda nekoliko desetaka MHz mogu prolaziti kroz zidove i objekte. Prema tim karakteristikama dizajniraju se bežični sustavi, bira se radna frekvencija koja je pogodna za određeni uređaj. Komunikacijski sustav je odgovoran za prijenos informacija od pošiljaoca do primatelja.

Osnovni elementi komunikacijskog sustava su (slika 9.1.):



Slika 9.1. Blok shema komunikacijskog kanala

- **prijenosni kanal**, žična ili bežična veza pošiljaoca/primatelja
- **modulator**, transformira izvornu informaciju koja je pogodna za transfer prijenosnim kanalom
- **predajnik**, pojačava i umeće modulirani signal u prijenosni kanal
- **prijemnik**, detektira primljeni signal na prijemnom kanalu, pojačava ga
- **demodulator**, iz primljenog signala odvaja informaciju i šalje je dalje na obradu

Upotreba digitalnih signala i modulacije ima mnogo prednosti nad analognim sustavima

To su:

visoka pouzdanost, diskretna osobina digitalnog signala čini razliku u prisutnosti šuma, vrlo visoka pouzdanost u slanju podataka i mogućnosti detektiranja greški

vremenska neovisnost, digitaliziran signal je slijed brojeva, brzina digitalnog signala ne mora biti ista onoj za vrijeme digitalizacije

neovisnost izvora signala, digitalni signal može biti predan u istom formatu neovisno od izvora, glas, video slika i podaci mogu se odašiljati na istom kanalu

signali se mogu kodirati, sama poslana poruka, konačni niz digitalnih signala ima određeno značenje zavisno od pravila kojim se one interpretiraju.

Nedostatak digitalnih sustava je veća cijena primopredajnih uređaja, pogotovo za onih koji rade u realnom vremenu.

Vrste bežičnih uređaja

Na samim počecima upotrebe bežični uređaji bili su korišteni prvenstveno za zvukovne komunikacije. Danas se bežični prijenos koristi u mnogo uređaja i to je idealno rješenje za okoline gdje žičano povezivanje nije moguće.

Bežične uređaje možemo podijeliti na:

- uređaje za prijenos audio, video signala (bežični telefoni, interkom,..)
- računalne mreže (bežični LAN, radio modem)
- komercijalne kućne uređaje (alarmni sustavi, daljinski upravljači ..)
- GPS (globalni sustav pozicioniranja)
- tehnologija radio-frekvencijske identifikacije (uređaji za praćenje, kontrola prostora) itd.

9.2. Mobilni radio sustavi

Mobilne komunikacije naglo se razvijaju. U početku razvoja mobilne tehnologije, mobilni sustavi su bili vrlo skupi i pristupačni samo najbogatijima. Devedesetih godina mobilna telefonija postaje pristupačnija širokim masama.

Razni mobilni sustavi razvijani su nakon drugog svjetskog rata, pa tako se mobilni radio sustavi mogu podijeliti na četiri kategorije:

1) **Public Land Mobile Networks (PLMN's)**, javne telekomunikacijske tvrtke koje pružaju usluge mobilne telefonije. Arhitektura PLMNa zasniva se na principu ćelijske pokrivenosti područja na kojem tvrtka daje usluge. Takvi su sustavi: AMPS, TACS, NMT, GSM itd.

2) **Dispatcher Land Mobile Networks** su u principu komunikacijske mreže koje pružaju usluge poslovne namjene. Komunikacija se odvija između mobilnih jedinica i mobilnih jedinica i glavnog dispečera. Omogućuje se najčešće prijenos govora i podataka. Dispečerski sustavi su često separirani i prilagođeni zahtjevima kompanije. Takve sustave koriste policija, vatrogasci, javna poduzeća itd.

3) **Pager** uređaji omogućuju jednosmjernu komunikaciju od operatera do određenog korisnika. Informacije koje se šalju su najčešće alfanumerički podaci koji se prikazu na displeju korisničkog pagera (u Hrvatskoj sono-prijemnik, informacije se distribuiraju signalom HRTa). Informacije do sono-prijemnika tj. pagera mogu se proslijediti FM signalom, GSM-om.

4) **Satelitski telekomunikacijski sustavi** mogu se povezati sa zemaljskim sustavima: telekomunikacijskim tvrtkama, radio i televizijskim distributivnim centrima itd. Satelitski sustavi u odnosu na putanju oko Zemlje, orbitu se dijele na LEO, MEO i GEO sustave. GEO sustavi se

koriste za telefoniju, prijenos podataka, radio i televizijsko emitiranje. Takvi sateliti su u grupaciji EUTELSAT, INTELSAT i INMARSAT.

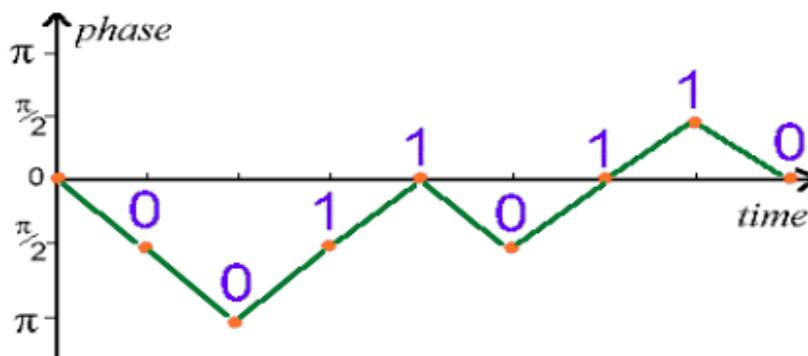
U budućnosti LEO i MEO sustavi će se također upotrebljavati. Sustavi poput ARIES, IRIDIUM, GLOBALSTAR, INMARSAT Project 21 i ODISEY će pokrivati površinu Zemlje sa velikim brojem manjih satelita, tako da će biti moguće uspostaviti kvalitetan komunikacijski kanal na bilo kojem djelu Zemlje.

9.3. Tehnike prijenosa signala

Modulacija je tehnika kojom se na noseći val upisuje informacija u svrhu prijenosa iste s jednog mjesta na drugo. Radio val se može modulirati po amplitudi, fazi ili frekvenciji tako da je informacija prisutna na valu nosiocu i može biti dekodirana tj. pročitana na prijemnom djelu. Glavni tipovi modulacije koji se koriste u digitalnoj tehnici su digitalna modulacija s pomakom amplitude, digitalna modulacija s pomakom faze, digitalna modulacija s pomakom frekvencije te hibridne modulacije poput kvadrature digitalne modulacije s pomakom faze, MSK, GMSK itd.

Binarni slijed	...00110110...							
Parovi	00		11		01		10	
I slijed	0		1		0		1	
Q slijed		0		1		1		0
I signal	0		1		0		1	
I signal	$-\pi/2$		$\pi/2$		$-\pi/2$		$\pi/2$	
Q slijed		0		1		0		1
Q signal		$-\pi/2$		$\pi/2$		$-\pi/2$		$\pi/2$

DQPSK je modulacijski postupak u kojem fazno moduliramo nositelje pomoću amplitudne modulacije sinusne i kosinusne komponente nositelja. Fazna promjena signala ovisi o vrijednosti trenutno emitiranog i prethodnog simbola (Tablica 9.3.).



a) Tablica ovisnosti faze signala o binarnom slijedu
b) Graf promijene faze PSK signala

Slijed bita	$\pi/4$ – DQPSK fazni pomak
0 0	45°
0 1	135°
1 0	-45°
1 1	-135°

Tablica 4: Fazni pomak u odnosu na slijed bita $\pi/4$ - DQPSK



Slika 5: Slijed bita u odnosu na fazni pomak

$\pi/4$ – DQPSK modulacija se upotrebljava kod IS-54 standarda (američki sustav digitalne mobilne telefonije D-AMPS), omogućuje visok stupanj spektralne djelotvornosti i nisku cijenu potrebnih elektroničkih sklopova. U suštini od QPSK modulacije se razlikuje po tome jer se faze mijenjaju od 45° do $\pm 135^\circ$ stupnjeva tj. drugačije se kodira slijed bita (Tablica 4). MSK modulacija je naprednija varijanta PSK modulacije. Matematički signal MSK modulacije može se opisati

$$s_i(t) = a_i \cos(\pi t/T) * \cos(\omega_c t) + b_i \sin(\pi t/T) * \sin(\omega_c t),$$

$$a_i, b_i = \pm 1$$

$$f_c = m/2T = m * R/4;$$

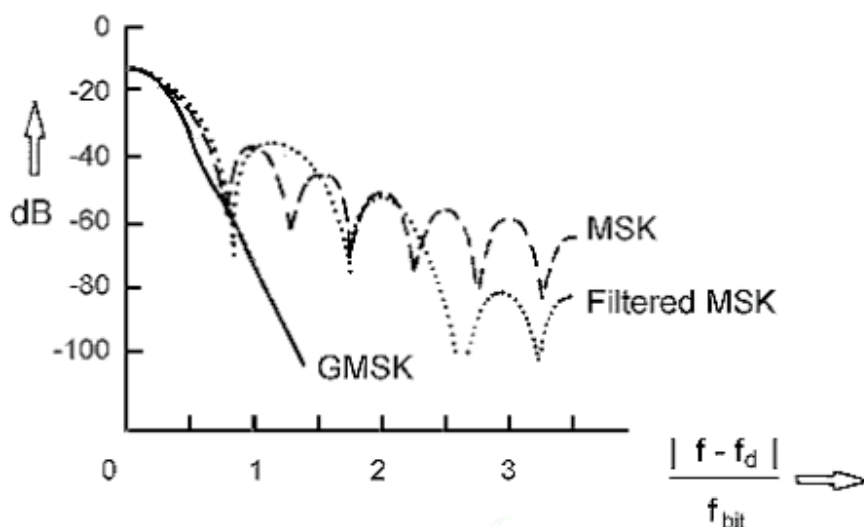
m je cijeli broj; $R=2/T$; brzina digitalnog signala. Uz trigonometrijske transformacije MSK signal se može opisati kao:

$$s_i(t) = \cos(\omega_c t - a_i b_i \pi t/T + \phi).$$

Iz jednadžbi može se zaključiti da:

1.) Signal MSK modulacije ima konstantnu anvelopu

2.) Kako se a_i ili b_i mijenja svakih $1/R=T/2$ sekundi, maksimalna fazna promjena je $\pi/2$ 3.) Ako je noseća frekvencija f_c višekratnik od $R/4$, nema diskontinuiranog faznog pomaka GMSK modulacija (Gaussian Minimum Shift Keying) se razlikuje od MSK modulacije po tome jer ima gausov filter na dijelu prije procesa modulacije, što čini izlaznu snagu signala mnogo kompaktnijom. Predmodulacijski gausov filter ima karakteristike da djeluje na uskom frekventnom području i karakteristiku da oštro reže signal. To omogućuje da guši visokofrekvencijske komponente signala. Stupanj reagiranja na nadvišenja signala je nizak što omogućuje zaštitu od trenutnih pretjeranih odstupanja signala. GMSK modulacija upotrebljava se u GSM sustavu pokretne mobilne telefonije.



Slika 6. Spektralna gustoća snage MSK, filtrirane MSK i GMSK modulacije

Kapaciteti prijenosa u mnogim bežičnim sustavima su ograničeni zbog unutar-kanalnih smetnji, koje su glavna ograničenja kapaciteta celularnih sustava. Unutar-kanalne smetnje rastu kad se ista noseća frekvencija koristi u susjednim ćelijama. Jedan od glavnih ciljeva modulacijskih tehnika je da budu sposobne tolerirati visoke nivoe unutar-kanalnih smetnji.

Postoji nekoliko karakteristika koje obilježavaju dobru modulacijsku tehniku, to su: dobra spektralna djelotvornost, dobra djelotvornost disipirane snage, sposobnost rada kod fedinga, niska cijena, jednostavnost elektroničkih sklopova, niska razina zračenja van dozvoljenog frekvencijskog pojasa (Slika 6.).

Digitalne modulacije su razumljiv izbor za buduće bežične sustave, pogotovo za bežični prijenos video signala, te mogu unaprijediti spektralnu djelotvornost jer su digitalni signali "robusniji" naspram analognih u pogledu interferencija.

Spektralna djelotvornost je glavna prednost jer bežični sustavi moraju raditi u prenapućenom frekvencijskom spektru (Tablica 5). Da se postigne velik stupanj spektralne djelotvornosti modulacijski modeli za TDMA i FDMA sustave moraju biti odabrani tako da imaju veliku iskoristivost namijenjenog frekvencijskog područja, te se ta djelotvornost mjeri u jedinici bita po sekundi po 1Hz frekvencijskog područja (bits/s/Hz).

Sustav	AMPS	ADC-TIA 45.3	GSM
Frek. opseg kanala	30 kHz	30 kHz	200 kHz
Modulacija-višestruki pristup	FM-FDMA	$\pi/4$ -QPSK-TDMA	GMSK-TDMA
Prijenos glasa, kapacitet	1 kanal	3-6 kanala	8 kanala
Spektralna djelotvornost	0.33 b/s/Hz	1.62 b/s/Hz	1.35 b/s/Hz
Brzina digitalnog signala	10 kb/s	48.6 kb/s	270.833 kb/s

Tablica 5. Spektralna djelotvornost nekih analognih i digitalnih sustava mobilne telefonije

9.4. Tehnike višestrukog prijenosa signala FDMA, TDMA i CDMA

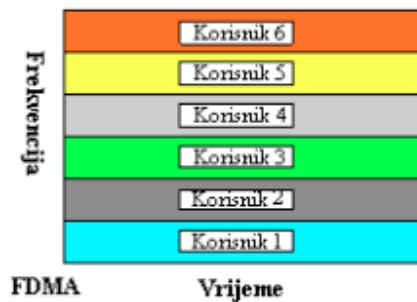
Glavni problem sa kojim se susreću projektanti bežičnih komunikacijskih sustava je kako omogućiti pristup sustavu što većem broju korisnika na malom frekventnom pojasu.

U današnjim digitalnim bežičnim sustavima koristimo nekoliko metoda višestrukog pristupa. Prve dvije i starije metode, višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom (FDMA) i višestruki pristup s vremenskom raspodjelom (TDMA) koriste podjelu frekvencije i podjelu vremena da omoguće višestruk pristup. Iako su ove metode dobre u rješavanju problema višestrukog pristupa, razvijena je nova metoda CDMA (višestruki pristup tehnologijom proširenog spektra). CDMA sustav koristi kombinaciju frekvencijske i kodne podjele (code division).

FDMA tehnika koristi se u danas već zastarjelim analognim sustavima. U određenom vremenskom periodu kanal je dodijeljen samo jednom korisniku, tako da je drugom korisniku dozvoljen pristup istom kanalu ukoliko je prethodni razgovor već obavio ili je otišao u područje pokrivanja druge ćelije (Slika 7.). Standardi koji koriste FDMA su AMPS, NMT, TACS. Nedostaci su ograničenja na ponovnoj upotrebi iste frekvencije u susjednim ćelijama, slab kapacitet.

TDMA tehnika se već dosta vremena koristi i dokazana je kao pouzdana tehnika koja omogućuje velikom broju korisnika usluge dobre kvalitete. Dodijeljeno frekvencijsko područje podjeli se na kanale, koji se dijele na velik broj vremenskih raspورا. Svakom korisniku se dodjeljuje jedan vremenski raspор, tako da se preko jednog kanala opslužuje 8 korisnika (Slika 8.).

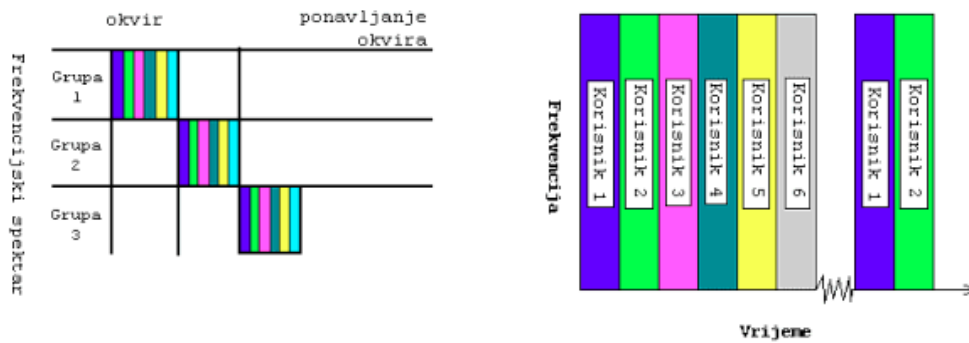
Postoji nekoliko standarda s TDMA: USDC, GSM, PCS-1900 (Tablica 6.).



Slika 7: Shema FDMA

Standard	Širina kanala	Broj vremenskih raspora
USDC-(IS-54)	30 kHz	3
GSM	200 kHz	8

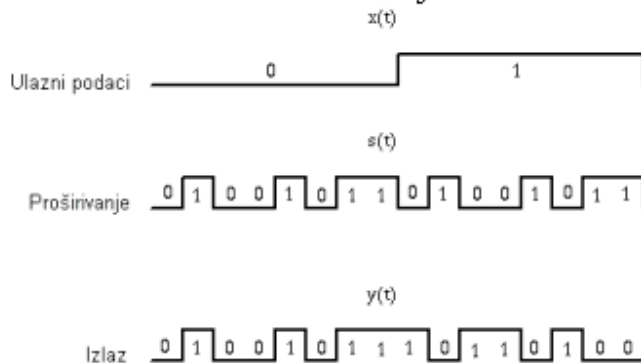
Tablica 6: Usporedba dvaju standarda



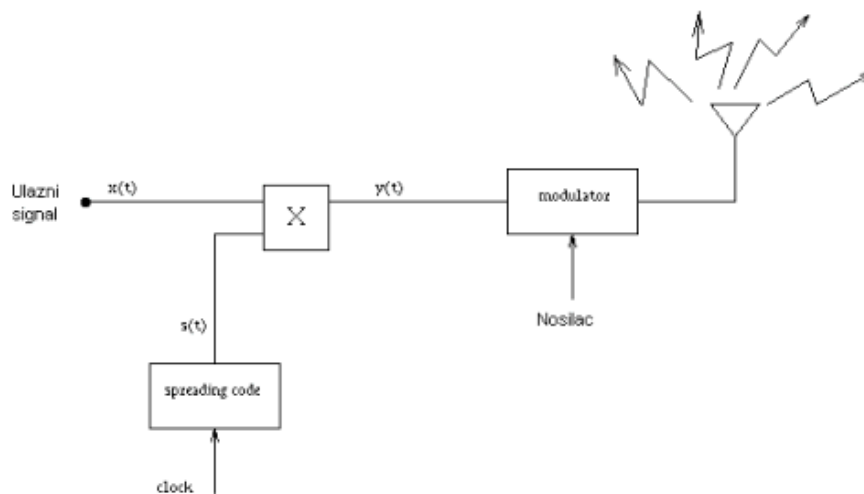
Slika 8: Shema rasporeda TDMA okvira u odnosu na raspoloživ frekvencijski spektar

CDMA tehnika se dosta razlikuje od FDMA i TDMA tehnika. Razlika je u tome što je širina kanala 1.224 MHz i svi korisnici sustava dijele isti kanal. Signal koji se prvo emitira na kanalu se raširi preko cijelog frekvencijskog pojasa (spread spectrum, tehnologija proširenog spektra). Signal se kodira koristeći jedinstven kod koji je poznat jedino prijemniku i predajniku. Kako je svaki signal u kanalu jedinstven može se razlikovati od ostalih, ispravno primiti i obraditi u prijemniku. Prošireni kodovi su najvažniji aspekti CDMA tehnologija. Kodovi se baziraju na Walsh matrici (64x64). U matrici redovi su međusobno ortogonalni, stoga izvedeni kodovi su jedinstveni svakoj mobilnoj jedinici, tako da nema dva ista koda i unaprijed su definirani. Teoretski kapacitet CDMA je neograničen, međutim redovi nisu u potpunosti ortogonalni pa je i kapacitet ograničen.

Slika 9: Primjer CDMA



Kod mobilne telefonije (CDMA), ljudski glas (300-3400 Hz) se kodira u digitalan signal brzine 9600 bps QPSK modulacijom. Signal se tada proširi na približno 1.23 Mbps koristeći poseban kod koji sadrži i informaciju o mobilnoj jedinici (Slike 9-10.). Signal se tada emitira preko dozvoljenog frekvencijskog područja, kanala. Kad se emitira signal se zbraja sa ostalim signalima. Prijemnik razdvaja signal sa određenim kodom i pretvara ga u analogni signal. CDMA tehnika se može poistovjetiti kada slušatelj dođe u dvoranu sa n ljudi koji razgovaraju. Ukoliko se usredotočimo na pojedinu osobu, možemo čuti što govori ili ako govore različitim jezicima možemo čuti onu osobu čiji jezik poznajemo. Kod TDMA tehnike bi prvo malo slušali osobu A, zatim osobu B itd.



Slika 10: Princip rada sustava proširenog spektra

U standardnim sustavima mobilne telefonije korisni signal mora biti barem za 18dB viši od signala smetnji, interferencija što rezultira tim da susjedne ćelije ne mogu dijeliti isto frekventno područje.

CDMA sustavi podnose vrlo visok nivo interferencije. U najtežim uvjetima rada signali mogu biti primljeni tako da bude razlika korisnog signala i signala smetnji manja od zadanih 18 dB. Obično oko polovica ukupnih smetnji dolazi iz susjednih ćelija.

Teoretski CDMA je mnogo naprednija tehnologija od TDMA, međutim u praksi nije dovoljno ispitana, dok je TDMA dokazana kao pouzdana tehnologija i dokraja je razvijena.

Kod mobilne telefonije najvažniji faktori koji se uzimaju u obzir su kapacitet sustava i mogućnost tehničke nadogradnje i realizacije sustava. Iako je CDMA već dosta prisutna u sustavima poput IS-95, TDMA sustavi se koriste u GSM i USDC sustavima.

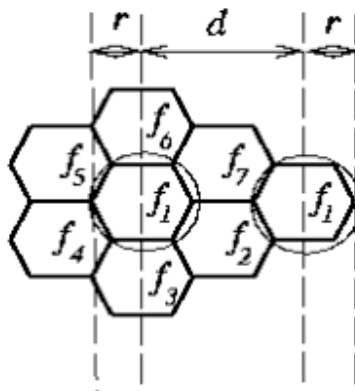
CDMA omogućuje 10-20 puta veći kapacitet od FDMA sustava i 4-7 puta veći kapacitet od TDMA sustava.

9.5. Celularni sustavi

Kod projektiranja celularnih mobilnih sustava, vrlo je važno predvidjeti snagu polja svake ćelije u području pokrivanja sustava. U urbanim područjima kod definiranja položaja i snage svake bazne stanice, projektanti se služe posebnim računalnim programima za predviđanje širenja radio valova i određivanja jačine polja na cijelom području.

Time se dakako poboljšava kvaliteta, snizi se cijena i rokovi izgradnje sustava.

Maksimalan dozvoljen promjer ćelija GSM sustava je 35km (ćelije promjera 70km su još u eksperimentalnoj fazi), međutim zbog tehnologije prijenosa signala upotreba na mnogo većim udaljenostima nebi bila moguća.



Slika 11: Shematski prikaz ćelijskih struktura

f_1 frekvencijski pojas B_1

f_2 frekvencijski pojas B_2

f_2 frekvencijski pojas B_3

itd

Ako se uzme npr. da u bloku ćelija koristimo 500 kanala, te kanale zbog interferencija nemožemo iskoristiti u sljedećem ćelijskom bloku, nego se sustav dizajnira prema mogućem broju korisnika na tom području. Uobičajen broj ćelijskog bloka je između 8 i 12. Tako je u naseljenim mjestima tendencija k maksimalnom broju korisnika, tj. maksimalnom kapacitetu (12 ćelija u bloku). To znači da treba čim više upotrijebiti ponavljanje kanala (frequency reuse), te se teži se smanjenju ćelija. Ukoliko bi koristili 12 ćelija, svaka bi imala 40 kanala s 8 korisnika po kanalu dobivamo 320 korisnika po ćeliji. Kada bi htjeli pokriti neko urbano područje, najmanji realni promjer ćelije je 500m, koristeći blok od 12 ćelija, na 2km^2 bi dobili maksimalan broj od 5120 korisnika. Ukoliko bi koristili ćelije promjera 1km, kapacitet će pasti na polovicu tj. na 2560 korisnika. Naravno da projektiranje celularnog sustava ima svoju cijenu, te se mora naći kompromis između cijene sustava (bazne stanice, zakupnine prostora, rente...), kapaciteta i kvalitete sustava.

9.6. GSM

Početakom 1980. godine počeo je ubrzani razvoj analogne celularne telefonije, posebno u Skandinavskim zemljama, Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Francuskoj. Svaka zemlja razvijala je zasebni sustav, tako da su sustavi bili međusobno nekompatibilni.

Početakom 1982. godine održava se konferencija europskih pošta i telegrafa (Conference of European Posts and Telegraphs - CEPT) i formira se radna grupa (Groupe Special Mobile - GSM) s ciljem da razviju europski sustav mobilne telefonije.

Sustav je trebao zadovoljavati sljedeće kriterije:

- dobra kvaliteta signala
- niska cijena opreme i servisiranja
- upotreba na međunarodnoj razini
- mogućnost upotrebe ručnih aparata
- podrška za neke dodatne usluge (telefaks, priključak računala, CLID...)

- spektralna djelotvornost
- ISDN kompatibilnost

Godine 1989. razvoj GSM-a je prebačen na Europski institut za telekomunikacijske tehnologije (European Telecommunication Standards Institute -ETSI) i faza I GSM specifikacija je objavljena. Komercijalna upotreba počinje sredinom 1991. i već dvije godine kasnije postojalo je 36 GSM mreža u 22 zemlje. Iako je GSM europski standard, u svijetu postoji preko 200 GSM (uključujući PCS1900 i DCS1800) mreža u 110 zemalja svijeta. Početkom 1994. postojalo je 1.3 milijuna GSM pretplatnika, dok ih je u listopadu 1997. zabilježeno 55 milijuna. Groupe Special Mobile je promijenio naziv u Global System for Mobile Communications - globalni sustav mobilne telefonije.

GSM preporuke su pisane na preko 8000 stranica što dovoljno govori o složenosti samog sustava. GSM sustav je u potpunosti digitaliziran, što omogućuje povećanje broja korisnika, kvalitete, korištenje dodatnih servisa i kompatibilnost sa drugim sustavima. Sustav omogućuje upotrebu na velikim područjima koja su "prekrivena" ćelijskom strukturom (korisni signal koji emitira pojedinačna bazna stanica tvori ćeliju) i to od mikroćelija (promjer 200 metara) do makroćelija (35 km), sa mogućnošću upotrebe u pokretnom vozilu (do brzine 250 km/h). Osim prijenosa govora tj. klasičnog telefonskog razgovora, omogućuje se slanje telefaksa, priključka računala (prijenos podataka da max. 9600 bauda), slanje elektroničke pošte (e-mail).

Sustav koristi TDMA i frekvencijski multipleks. Signali se prenose koristeći GMSK modulaciju. Širina frekvencijskog pojasa kod GSM sustava je 25 MHz, frekventno područje za vezu mobilna jedinica-bazna stanica je 890-915 MHz a za vezu bazna stanica-mobilna jedinica 935-960 MHz. Frekvencijski pojas od 25 MHz se dijeli na 125 kanala, od kojih je svaki frekventnog opsega 200 kHz. Neznatan gubitak informacije u okolnim kanalima je dozvoljen i taj gubitak je minimiziran zahvaljujući GMSK modulaciji. Ovakve odvojene frekvencije za prijem/predaju signala omogućuju lakši istovremeni dvosmjerni prijenos. Pojedinačni kanali su podijeljeni na višestruke okvire (engl. multiframes, sadrži 26 okvira), okviri su podijeljeni svaki na 8 vremenskih raspورا (engl. time slot), vremenski raspori su opet podijeljeni na 8 polja (engl. fields). Vremenski raspori traju 0.57 ms i omogućuju protok od 156.25 bita informacije. Od 8 vremenskih raspورا jedan je za slanje, drugi za primanje dok ostalih šest vremenskih raspورا služi za slanje kontrolnih signala. Skakanje frekvencije upotrebljava se da interferenciju smanji na prihvatljivu razinu. U principu skakanje frekvencije ima prednosti u toj činjenici da smetnja može biti smanjena, ako je smetajući signal sadržan samo u uskom dijelu spektra signala preko kojeg željeni signal skače. Trenutna verzija GSM sustava podržava rad na 22.8 kbs jednosmjerno (full rate) i 11.4 kbs dvosmjerno (half rate).

Sustav je ISDN kompatibilan i podržava brzinu do 9.6 kb/s.

9.6.1. Usluge koje pruža GSM

Od samih početaka razvojni timovi GSM sustava su željeli ISDN kompatibilnost u pogledu usluga koje može ponuditi i kontrole prijenosa signala. Međutim, ograničenja radio prijenosa u pogledu širine frekventnog pojasa i cijene ne dozvoljavaju da se u praksi postigne standard (ISDN kanal B) od 64 kbps.

Najvažnija usluga koju podržava GSM je telefonija. Govor se digitalizira i prenosi dalje u GSM mrežu u digitalnom obliku. Prilikom priključka na računalo (najčešće prijenosno, preko posebne PCMCIA kartice) nije potreban modem jer je GSM ionako digitalna mreža. Slanje telefaksa je podržano također (ITU-T , preporuke T.30).

Posebnost GSM-a nad analognim sustavima je mogućnost slanja SMS i e-SMS (slanje putem e-maila) poruke. SMS (Short Messaging Service) je mogućnost slanja alfanumeričke poruke i to do duljine 160 znakova.

9.6.2. Slanje telefaksa i računalnih podataka

Radio prijenos je mnogo manje prikladan medij za prijenos podataka od telefonske linije, zbog raznih smetnji, gubljenja signala itd. GSM sadrži mnogo elemenata zaštite podataka od takvih problema. Podaci se kodiraju i obrađuju tako da se omogući siguran prijenos do odredišta. Obrada digitalnog signala je vrlo složena, tako da se povećava kompleksnost elektroničkih sklopova, cijena, te se omogućuje se prijenos do 9600 bps.

Ovisno o stupnju pouzdanosti, GSM ima dva različita oblika za prijenos podataka, transparentni i ne-transparentni mod (Transparent/Non-Transparent Mode), koji se razlikuju u načinu obrade grešaka.

Transparentni mod ne koristi dodatne protokole za obradu greški, te je dobro rješenje za primjenu gdje podaci moraju imati brz protok i gdje se toleriraju greške.

Ne-transparentni mod provjerava svaki paket podataka i zahtjeva ponovno slanje ukoliko je poslan pogrešno, što smanjuje brzinu prijenosa ali i osigurava besprijekoran prijenos podataka. Tehnika koja se koristi kod kontrole ne-transparentnog moda je RLP (Radio Link Protocol) i sastavni je dio GSM standarda.

Oba dva moda omogućuju slanje i primanje telefaksa, iako najveći broj davalaca GSM usluga podržavaju ne-transparentni mod.

Uz odgovarajuću GSM PCMCIA karticu i komunikacijski softver moguć je pristup Internetu (do 9600 bps), slanje elektroničke pošte (e-mail) što može poslovnim ljudima biti od velike koristi.

9.6.3. SMS

Jedna od najinteresantnijih osobina GSM-a je SMS (Short Messaging Service). SMS koristi kontrolne kanale predane od bazne stanice za prijenos do 160 alfanumeričkih znakova.

SMS poruka se prikazuje na ekranu mobilne jedinice i distribuira se koristeći tastaturu mobilne stanice. U kombinaciji sa prijenosnim računalom i odgovarajućim komunikacijskim softverom može se dobiti dobar sustav za distribuciju poruka.

SMS nudi dosta prednosti GSM-a nad ostalim sustavima u kombinaciji sa prijenosom podataka i telefaksa, nudeći:

- prijenos alfanumeričkih poruka duljine do 160 znakova
- sigurna predaja poruka, podataka
- mogućnost primanja biranih poruka, podataka
- primanje i predaja podataka za vrijeme razgovora
- individualni ili grupni prijem

Kod slanja SMS poruka, ukoliko je mobilna stanica primatelja isključena, poruku pohranjuje davatelj GSM usluga i isporučuje je onog trenutka kada se mobilna stanica uključi (mod čekanja poziva, stand by). Primanje poruke je tako osigurano, za razliku od uobičajenog načina slanja "pager" poruka, gdje ukoliko se primatelj ne nalazi u području pokrivanja, poruka se gubi. Primatelj i pošiljatelj su također upoznati sa vremenom pristizanja poruke. Poruka se sprema u memoriji SIM kartice. Primanje poruke moguće je i za vrijeme razgovora, jer SMS koristi kontrolne kanale.

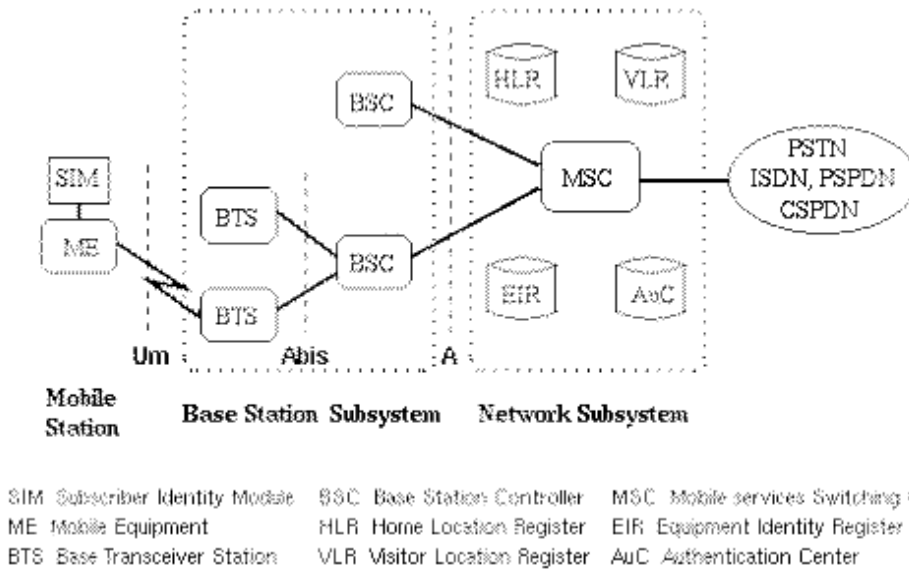
Ukoliko to davatelj GSM usluga to omogućuje moguće je slati SMS poruke na primateljev e-mail ili telefaks uređaj, jedini zahtjev je da niz od max. 160 znakova sadržava e-mail ili broj telefaksa.

SMS se sve više upotrebljava za razne informacijske servise, prometne izvještaje, lokalne novosti.

9.7. Arhitektura GSM mreže

GSM mreža sastoji se od nekoliko cjelina: mobilna stanica, podsustav bazne stanice i mrežni podsustav (Slika 12.). Mobilnu stanicu nosi sam korisnik, podsustav bazne stanice kontrolira i usklađuje veze sa mobilnom stanicom. U mrežnom podsustavu glavni dio je mobilni servisni

komutacijski centar koji komutira pozive između mobilnih stanica i fiksne mreže i mobilnih stanica međusobno. Mobilni servisni komutacijski centar (MSC) ujedno kontrolira i upravlja cjelokupnim sustavom.



Slika 12: Komponente i standardizirano sklopovlje GSM sustava

- **BTS**, bazna primopredajna stanica
- **BSC**, upravljački dio bazne stanice
- **EIR**, registar za identifikaciju opreme, sadrži listu mobilnih stanica kojima je dozvoljen pristup i listu stanica kojima nije dozvoljen (ukradene,...)
- **HLR**, sadrži informacije o pretplatniku i informacije o trenutnom položaju korisnika u sustavu
- **VLR**, informacije o mobilnim stanicama u određenim područjima
- **AuC**, baza podataka koja sadrži šifre sa pretplatničkih SIM kartica
- **MSC**, mobilni servisni komutacijski centar

Mobilna stanica (MS) sastoji se od samog uređaja i “pametne” kartice koja se još zove i SIM kartica. Pomoću SIM kartice omogućuje se određena neovisnost od samog uređaja, tako da vlasnik SIM kartice može koristiti usluge GSM mreže na bilo kojem uređaju. Prilikom sklapanja ugovora kod davalaca GSM usluga pretplatnički broj je vezan uz SIM karticu, a ne uz uređaj. SIM kartica sadrži IMSI broj, kojom se pretplatnik identificira sustavu. Pretplatnička kartica se također može zaštititi i posebnom šifrom kao zaštita od neovlaštenog korištenja mobilnog uređaja (PIN broj).

Podsustav bazne stanice sastoji se od dva djela, primopredajne bazne stanice (BTS) i upravljačkog djela bazne stanice (BSC). Podsustav bazne stanice sadrži primopredajne uređaje koji svojim efektivnim dometom definiraju ćeliju te usklađuju protokole radio prijenosa s mobilnom stanicom.

U vrlo naseljenim mjestima zbog kvalitete signala mora postojati velik broj primopredajnih uređaja. Instaliraju se na povišena mjesta i to najčešće u gradovima na krovove visokih građevina. Zahtjevi koji se postavljaju za primopredajne uređaje su: ekonomičnost, niska cijena održavanja, lako premještanje na druge lokacije.

Upravljački dio bazne stanice rukovodi radio resursima jednog ili više primopredajnog uređaja, rukovodi radio kanalima, frekvencijskim skokovima.

Glavna komponenta mrežnog podsustava je **mobilni servisni komutacijski centar (MSC)**, koji radi poput običnog komutacijskog čvorišta, te zatim vrši registraciju korisnika, provjerava

autentičnost, usmjerava pozive pretplatnika (roaming). Ove usluge obavlja nekoliko funkcionalnih cjelina, koje zajedno čine mrežni podsustav, te se dalje vežu na fiksnu telefonsku mrežu. Protokol koji se koristi unutar mrežnog podsustava za prijenos signala koristi SS7 protokol, koji se također koristi u ISDN mrežama i telefonskim centralama.

HLR i VLR registar zajedno sa mobilnim servisnim komutacijskim centrom vrše usluge usmjeravanja i preusmjeravanja poziva prema drugim mrežama, te sadrži podatke o trenutnom položaju mobilne stanice u sustavu (ukoliko se nalazi na području pokrivanja). HLR registar je baza podataka i sadrži sve potrebne informacije o svim pretplatnicima koji su registrirani u odgovarajućoj GSM mreži. Svaka GSM mreža sadrži po jedan HLR registar.

VLR sadrži izabrane podatke iz HLR registra nužne za kontrolu poziva i obračun pretplatničkih računa za svakog pretplatnika koji se nalaze na području kontrole VLR registra.

Iako svaka funkcionalna cjelina može biti upotrijebljena kao posebna jedinica, proizvođači opreme objedinjuju VLR sa mobilnim komutacijskim centrom.

EIR je baza podataka koja sadrži listu mobilnih uređaja koji mogu pristupiti sustavu, gdje se svaka mobilna jedinica identificira s IMEI kodom. Prilikom krađe mobilne stanice vlasnik uređaja prijavljuje krađu, u EIR registru se IMEI kod označava kao nedozvoljen za uporabu.

Centar za provjeru identičnosti (AuC), je zaštićena baza podataka koja sadrži kopiju tajnog koda (PIN broj) koji sadržava svaka preplatnička SIM kartica.

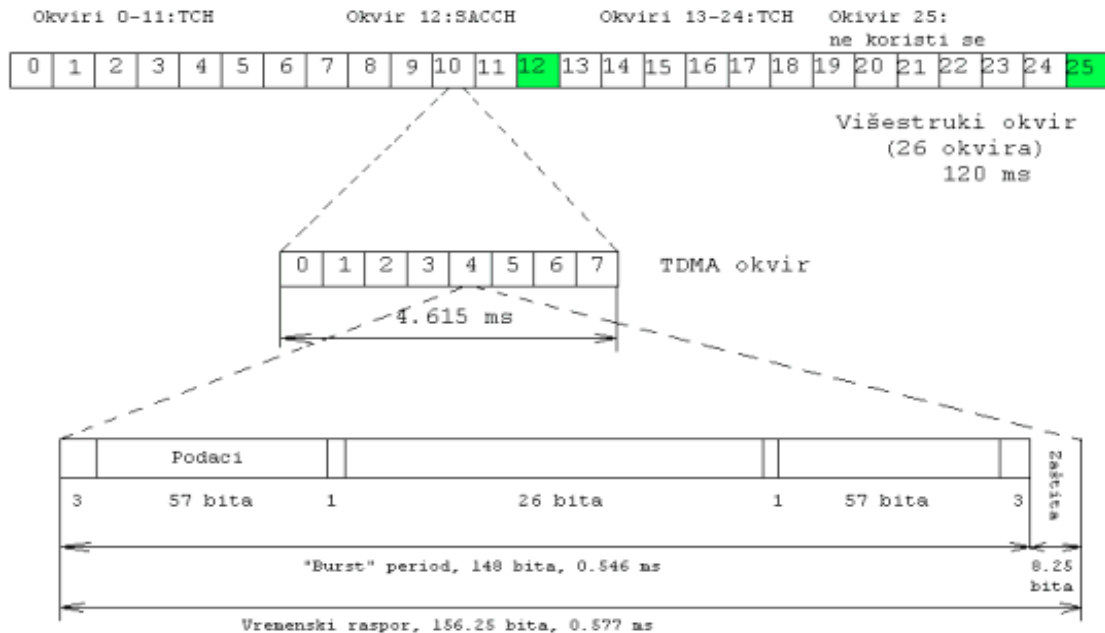
9.8. Struktura GSM signala

Sustav GSM-a koristi kombinirane FDMA i TDMA tehnike za prijenos signala. FDMA uključuje podjelu frekvencije na propusni pojas od maksimalno 25MHz, koja se dijeli na 124 para frekvencija dupleks kanala širine 200kHz. Jedna ili više nosećih frekvencija dodijeljene su svakoj baznoj stanici. Svaka od tih nosećih frekvencija je vremenski podijeljena koristeći višestruki pristup s vremenskom raspodjelom da razdvoji 200 kHz kanal na 8 vremenskih raspora koji čine 8 logičkih kanala.

Logički kanal je definiran po frekvenciji i broju vremenskog raspora. Koristeći 8 vremenskih raspora svaki kanal emitira digitaliziran govor u kratkim serijama "burst" perioda. Osam vremenskih TDMA raspora zajedno čini 248 poludupleksnih kanala, što odgovara boju od 1984 logičkih poludupleksnih kanala.

Po jednoj ćeliji dolazi tada $1984/7=283$ logičkih poludupleksnih kanala. To dolazi zbog toga jer ćelija može koristiti 1/7 totalnog broja frekvencija. Takva raspodjela frekvencija je dovoljna da pokrije vrlo veliko područje. Svaki kanal je podjeljen na 8 vremenskih raspora trajanja 0.577ms (15/26 ms), koji čine TDMA okvir duljine 4.615ms (120/26 ms). Ponavljanje svakog pojedinačnog vremenskog raspora je svakih 4.615ms, tako da tvori jedan osnovni kanal. Podaci se prenose "burst" periodima i smješteni su unutar vremenskih raspora. Brzina prijenosa digitalnog signala je 271 kb/s (trajanje 1 bita je 3.79ms) (Slika 13.).

Radi vremenskog usklađivanja, "burst" period kod slanja podataka je kraći od vremenskog raspora i traje 148 umjesto omogućenih 156.25 bit perioda. GSM može koristiti tehniku sporog preskakanja frekvencije gdje mobilna i bazna stanica predaju svaki TDMA okvir na različitoj nosećoj frekvenciji. Algoritam za skok frekvencije emitira se na BCC kanalu. Prigušenje signala je ovisno o nosećoj frekvenciji, te se skakanje frekvencije upotrebljava da riješi taj problem.



Organizacija "burst" perioda, TDMA okvira i višestrukih okvira

- 8 vremenskih rasporeda=TDMA okvir (4.6ms)
- 26 ili 51 TDMA okvir (zavisi dali je za kontrolne podatke ili za prijenos govora/podataka) je grupirano u višestruke okvire (multiframe)
- 26 ili 51 multiframe čini jedan superframe (trajanje 6.12 s)
- 2048 superframe okvira čini jedan hyperframe trajanja 3 sata, 28 minuta, 53 sekundi i 760 ms

Slika 13: Struktura okvira

Prometni kanali (TCH) se koriste za prijenos govora i podataka. Koriste višekvorni sustav, koji sadrži 26 TDMA okvira (1 multiframe=26 TDMA frames). Duljina trajanja višekvornog sustava je 120 ms. Od 26 okvira, 24 se koriste za prijenos govora ili podataka, jedan predstavlja SACCH kanal dok se zadnji ne koristi.

Prometni kanali kod prijema i predaje su razdvojeni za 3 "burst" perioda, tako da mobilna jedinica nema potrebu za simultanom primopredajom, što pojednostavljuje elektroniku mobilne stanice.

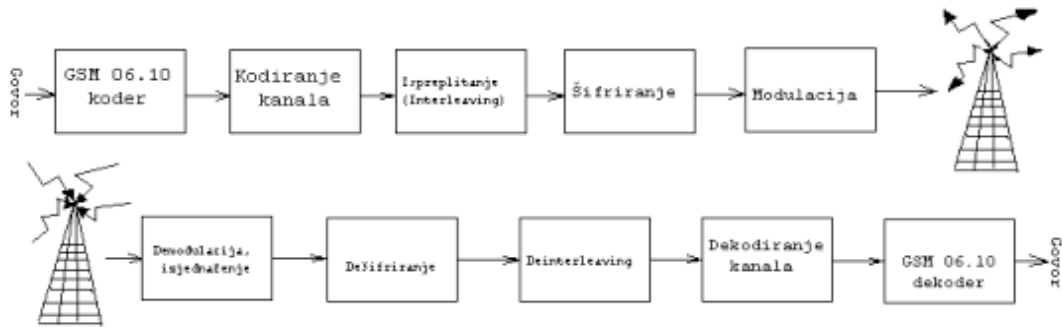
Koriste se za prijenos informacija vezanih uz kontrolu i upravljanje radom mreže koriste se kontrolni kanali.

Kontrolne kanale dijelimo na:

- Broadcast Control Channel (BCCH), predaje potrebne informacije mobilnoj jedinici o baznoj stanici, dodjeljuje frekvencije i sljedove za frekvencijske skokove.
- Frequency Correction Channel (FCCH) i Synchronisation Channel (SCH), koriste se za sinhronizaciju mobilne jedinice sa strukturom vremenskog rasporeda ćelije definirajući granice "burst" perioda. Svaka ćelija u mreži emitira jedan FCCH i jedan SCH kanal.
- Random Access Channel (RACH), koristi ga mobilna jedinica kad daje zahtjev za pristup mreži.
- Paging Channel (PCH), koristi se da upozori mobilnu stanicu na nadolazeći poziv.
- Access Grant Channel (AGCH), služi za dodjeljivanje SDCCH kanala mobilnoj jedinici.

Razvojni tim GSM-a proučavao je nekoliko tipova algoritama za kodiranje govora, gdje se tražila dobra kvaliteta govora i što manja složenost potrebnih elektroničkih sklopova (time se snižava

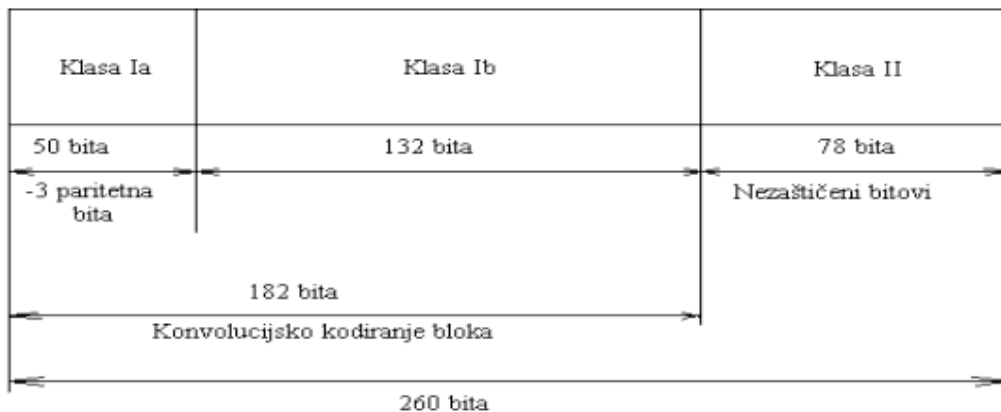
cijena proizvodnje, kašnjenje obrade i manja potrošnja energije za napajanje sklopova). Izbor je pao na RPE-LPC koder. Informacija sadržana u prethodnom uzorku, koja se brzo ne mijenja koristi se da predvidi sljedeći uzorak. Razlika između prijašnjeg i trenutnog uzorka predstavlja signal. Govor se dijeli na uzorke duljine 20ms, od kojih se svaki kodira sa 260 bitova, dajući tako brzinu digitalnog signala od 13kbps (full rate speech coding).



Slika 14: Blok-shema kodiranja i dekodiranja govora

Zbog prirodnih i umjetnih elektromagnetskih smetnji, kodiran govor ili podaci koji se prenose moraju biti zaštićeni od greški. Prilikom testiranja utvrđeno je da od bloka 260 bitova (20ms govora) određeni blok bitova je važniji za razumijevanje nego ostali. Tako se blok od 260 bitova dijeli na tri klase osjetljivosti (Slika 15.):

- **Klasa Ia 50 bita** - najosjetljivija na greške
- **Klasa Ib 132 bita** - umjerena osjetljivost na greške
- **Klasa II 78 bita** - najmanje osjetljiva na greške

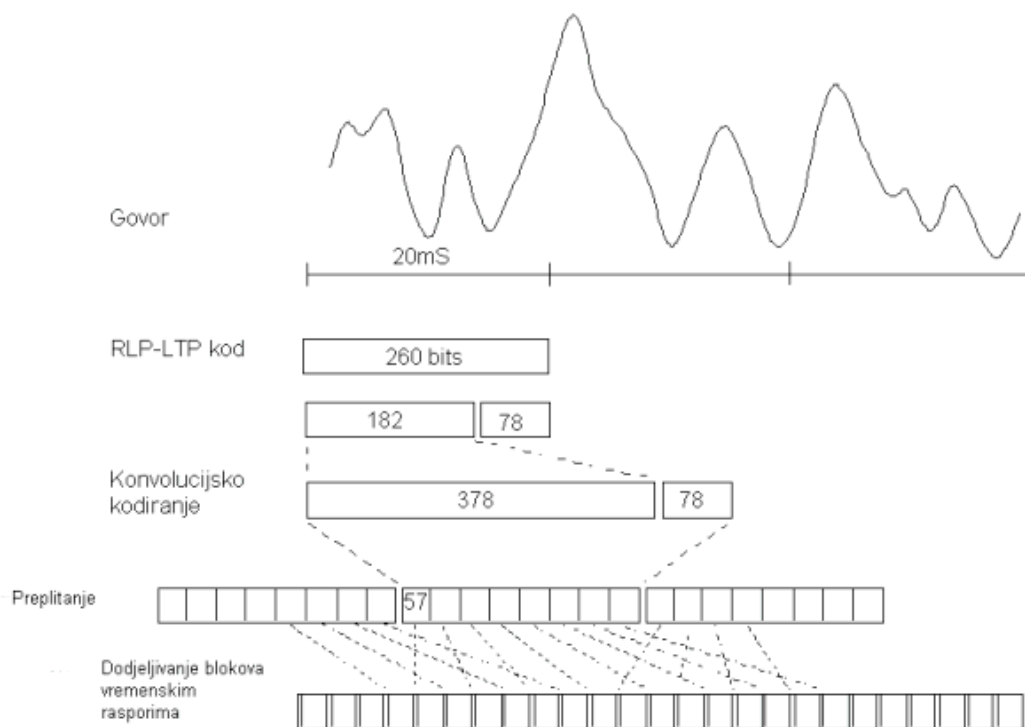


Slika 15: Uzorak audio signala (govora), 1 blok=260 bitova (trajanje 20ms)

Klasa Ia ima tri paritetna bita CRC koda koji se dodaju za detekciju greške. Ukoliko se greška detektira okvir se proglašava neispravnim, odbacuje se i zamjenjuje prijašnjim ispravno primljenim prigušenim okvirom. Ta 53 bita zajedno sa 132 bita klase Ib i 4 bita završne sekvence (ukupno 189 bita) ulaze u koder. Svaki ulazni bit se kodira na dva izlazna bita bazirana na kombinaciji prijašnja 4 ulazna bita. Na izlazu koda je 378 bita, kojima se dodaje okvir od 78 bita preostalih iz klase II. Tako se svakih 20ms govora kodira sa 456 bita, što daje brzinu

digitalnog signala od 22.8kbps. Zbog daljnje zaštite od grešaka “burst” perioda, svaki uzorak se prepliće. Na izlazu koda 456 bitova se dijeli na 8 podblokova po 57 bita. Blokovi se uzastopno šalju “burst” periodima s vremenskim rasporedom (time-slot bursts), od kojih svaki može prenijeti dva 57 bitna bloka, tako da svaki “burst” period šalje dva različita uzorka govora (vremenska okvira). Okviri se međusobno miješaju, uzima se nekoliko bita prvog okvira, zatim drugog itd., zatim opet nešto iz prvog, drugog itd.

Dubina preplitanja razlikuje se za svaki tip kanala. Ideja i cilj preplitanja, miješanja je smanjivanje utjecaja smetnji kod prijenosa podataka. Greške, smetnje se tako raspoređuju na veći broj okvira, blokova tako da npr. ako je 500 bitova neispravno, raspoređivanjem na veći broj blokova greška će tada manje utjecati na prijenos (Slika 16.).



Slika 16: Proces obrade govora

Moduliranje signala na analognu noseću frekvenciju vrši se GMSK modulacijom. GMSK modulacija je odabrana kao kompromis između spektralne djelotvornosti, složenosti elektronike i nepoželjne emisije (radio-frekvencijski izlaz izvan određenog frekventnog pojasa). Složenost elektronike je proporcionalna potrošnji mobilne stanice, koja mora biti reducirana na najmanju moguću vrijednost. Nepoželjna emisija izvan dozvoljenog frekventnog područja mora biti kontrolirana, tako da interferencija na okolne kanale bude minimalna.

Pri radnim frekvencijama GSM-a (900MHz), radio valovi odbijaju se praktički od svačeg: zgrada, planina, brežuljaka, automobila, zrakoplova itd. Tako se reflektirani signali koji imaju različit fazni pomak mogu primati s antenom mobilne stanice. Ekvalizacija se koristi da izvuče originalni signal od neželjenih refleksija. To radi na principu da se prouči utjecaj fedinga na predani signal, konstruira se inverzni filter da izdvoji ostatak željenog signala. Taj poznati signal je 26 bitna “training” sekvenca koja se emitira u sredini svakog “burst” perioda s vremenskim rasporedom.

Mobilna i bazna stanica mogu mijenjati frekvenciju između predaje, prijema, te svaki TDMA okvir predaju na različitim nosećim frekvencijama. Algoritam za frekvencijski skok se emitira na BCC kanalu. Frekvencijski skok omogućuje prevladavanje problema koje zadaje fading.

Minimiziranje smetnji koje dolaze zbog raznih utjecaja unutar kanala je cilj projekatana celularnih sustava, pa se tako dobivaju kvalitetnije usluge od pojedine ćelije. Korištenjem manjih ćelija povećava se ukupni kapacitet sustava. Diskontinuirana ili prekidna predaja (DTX) je metoda kojom se postižu određene prednosti nad činjenicom da osoba koja razgovara, govori manje od 40% ukupnog vremena normalnog razgovora. Te prednosti se očituju u prekidanju rada predajnika za vrijeme perioda tišine, tako se štedi energija baterije mobilne stanice.

Najvažnija komponenta DTX-a je sustav za detekciju govora (VAD). Sustav mora razlikovati govor od okolnih zvukova. Ukoliko se glas krivo interpretira tj. VAD ga "proglasi" okolnim šumom dolazi do isključivanja predajnika što se manifestira rezanjem signala i tada se djelotvornost DTX-a značajno umanjuje. Kad je predajnik isključen kod prijemne strane nema šumova što je zapravo jedna od prednosti digitalne tehnologije GSM-a.

Druga metoda koja se koristi za štednju energije baterije mobilne stanice je diskontinuiran prijem signala. Kanal koji koristi bazna stanica (paging channel) da upozori na nadolazeći poziv se sastoji od podkanala, te svaka mobilna stanica "sluša" svoj podkanal, tako da trši vrlo malo energije.

Postoji pet klasa mobilnih stanica koje određujemo prema njihovim maksimalnim snagama koje emitira predajnik (Tablica 7). Mobilna stanica i bazna stanica rade tako da disipiraju najmanje snage u okviru prihvatljive kvalitete veze zbog minimiziranja interferencija unutar kanala i štednje baterije mobilne stanice. Nivoi disipirane snage mijenjaju se u koracima (više, niže) po 2dB od maksimalne snage definirane za pojedinu klasu do minimuma od 13dBm (20mW).

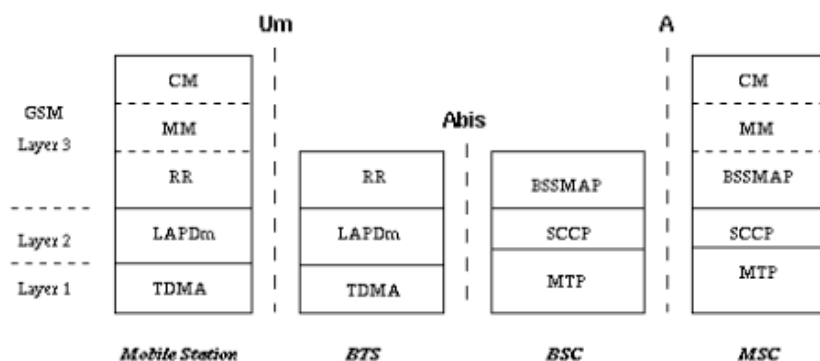
Mobilna stanica mjeri jačinu/kvalitetu signala te prosljeđuje informaciju kontroleru bazne stanice, koji odlučuje o promjeni nivoa disipacije.

Tablica 7: Klase mobilnih stanica prema disipiranoj snazi

Klasa snage	Maksimalna snaga mobilne stanice / (dBm)	Maksimalna snaga bazne stanice / (dBm)
1	20 W (43)	320 W (55)
2	8 W (39)	160 W (52)
3	5 W (37)	80 W (49)
4	2W (33)	40 W (46)
5	0.8 W (29)	20 W (43)
6		10 W (40)
7		5 W (37)
8		2.5 W (34)

9.9. Struktura GSM sustava, aspekti mreže

Mobilna stanica može se bez ikakvih prekida za vrijeme razgovora kretati unutar područja pokrivanja GSM mreža (international roaming), što zahtjeva provjeru autentičnosti, prosljeđivanje poziva, praćenje mobilne stanice u sustavu (call routing, location updating). ćelije se povezuju i koordiniraju mrežnim podsustavom (MSC), koristeći SS7 protokole.



Slika 17: Blok shema povezivanja komponenti sustava

Sustav se sastoji od tri glavne razine – sloja, koje razlikujemo po vrsti povezivanja. Prvi je fizički sloj koji koristi kanale za komunikaciju putem etera, drugi sloj je dio za protok informacija, koji je modificirana verzija LAPD protokola (koristi se u ISDN-u), nosi oznaku LAPDm. Zadnji sloj protokola prijenosa informacija se dijeli na tri podnivoa (Slika 17.):

- **upravljački dio za kontrolu radio resursa (RR)**, kontrolira i koordinira kanale, uspostavljanje veza.
- **upravljački dio za kontrolu kretanja u sustavu (MM)**, upravlja održavanjem veze kod kretanja pretplatnika (mobilne stanice), vrši potrebne radnje kod registracije pretplatnika, te provjere autentičnosti.
- **upravljački dio za kontrolu uspostavljanja veza (CM)**, kontrolira i upravlja glavnim elementima kod vršenja poziva (CCITT preporuke Q.931), upravlja dodatnim uslugama GSM-a, te SMS uslugama.

Protokoli povezivanja različitih cjelina u fiksnom djelu mreže, npr. HLR i VLR registra uređuju se MAP protokolom. Specifikacije MAP protokola su vrlo složene, te su jedne od najsloženijih u cijelom GSM sustavu.

Upravljački dio za kontrolu radio resursa (RR) nadgleda uspostavljanje veze između mobilne stanice i mobilnog servisnog komutacijskog centra (MSC).

Protokoli RR nivoa uvijek započinju iniciranjem sa strane mobilne stanice i to kroz proceduru pristupa, ulazno-izlaznih poziva, raznih detalja vezanih za pristup mreži, kontroli i reguliranju disipirane snage predajnika bazne stanice, te diskontinuiranog prijema i predaje.

9.10. Uspostava i održavanje veze kod pokretne mobilne stanice

Kod upotrebe mobilne stanice u celularnim sustavima podrazumjeva se da sustav mora podržavati funkciju preklapanja kanala i ćelija ukoliko je korisnik u pokretu i vrši razgovor. Sve potrebne radnje za preusmjerenje signala (handover, handoff) po ćelijama vrši RR nivo i to je jedna od osnovnih funkcija tog djela sustava.

Postoje četiri vrste preusmjerenja signala u GSM sustavu, koji uključuju prijenos poziva između:

- kanala (vremenskih rasporeda) u samoj ćeliji
- ćelija, koje su pod kontrolom kontrolera bazne stanice (BSC)
- ćelija pod kontrolom različitih BSC-a, ali pripadaju istom mobilnom servisnom komutacijskom centru (MSC)
- ćelija pod kontrolom različitih MSC centara

Preusmjeravanje signala u ćelijskoj strukturi može biti potaknuto od strane mobilne jedinice ili MSC centra (da izbalansira promet u sustavu).

Za vrijeme pretraživanja signala okolnih ćelija, mobilna stanica pretražuje BCC kanale do 16 okolnih susjednih ćelija, te formira listu od 6 najboljih "kandidata" za moguće preusmjeravanje. Ocjenjivanje kvalitete signala okolnih ćelija vrši se na temelju mjerenja jačine signala. Informacija se prosljeđuje BSC-u, zatim MSC centru, te se za djelić sekunde donosi odluka.

Algoritmi za preusmjeravanje signala nisu specificirani u GSM preporukama. Koriste se dva algoritma koji se temelje na mjerenju jačine signala. BSC često ne zna dali je razlog loše kvalitete signala fading ili se mobilna stanica kreće prema drugoj ćeliji te jačina signala pada. To se često događa u urbanim naseljima sa baznim stanicama malog radijusa (male ćelije).

Prvi algoritam (minimum acceptable performance algorithm) daje određene prednosti nad kontrolom disipirane snage, pa tako kad jačina signala padne ispod određene točke, povećava se snaga disipiranja mobilne jedinice. Ako daljnje povećavanje snage ne zadovolji uvjete za uspješnu komunikaciju, tada se pretražuju signali okolnih ćelija. To je jednostavnija metoda, međutim tvori izobličene granice ćelija kada mobilna stanica predaje maksimalnu snagu, te tada signal prelazi u područja druge ćelije.

Drugi algoritam (power budget method) koristi preusmjeravanje signala po okolnim ćelijama da zadrži potrebnu kvalitetu signala na istom ili nižem nivou disipirane snage. Ta metoda ima prednosti zbog bolje kontrole disipirane snage i ćelijskog preusmjeravanja. Smanjuje se unutar-kanalna interferencija, te se izbjegava problem izobličenja ćelijskih granica.

Upravljački dio za kontrolu kretanja (MM) ima funkciju kontrole položaja mobilne stanice u sustavu, tako da ukoliko dođe do poziva, signal se prosljeđuje mobilnoj stanici.

Prilikom poziva ćelije koje pokrivaju područje šalju informaciju o pridošlom pozivu preko PAGCH kanala. Ukoliko bi se signal o pozivu mobilnoj stanici slao preko svih ćelija u GSM mreži to bi dosta opteretilo sustav, te mu smanjilo kapacitet. Druga mogućnost je da se signal o pozivu šalje preko one ćelije u kojoj se korisnik trenutno nalazi, međutim tada bi trebalo neprestano slati informacije sustavu o trenutnom položaju pretplatnika, što je nepraktično.

Kompromisno rješenje koje se nameće je da se prilikom poziva signal mobilnoj stanici prosljeđuje putem nekoliko okolnih ćelija, ćelijskom bloku (location areas).

Procedura za prosljeđivanje poziva i kontrolu kretanja u sustavu koriste MSC centar, HLR i VLR registre. Kad se mobilna stanica uključi na novom području, premjesti na drugo ili prijede u područje drugog davaoca GSM usluga, tada se mora registrirati sustavu da potvrdi novu lokaciju. Informacija o položaju šalje se MSC centru i VLR registru, koji informaciju o položaju šalje pretplatničkom VLR registru.

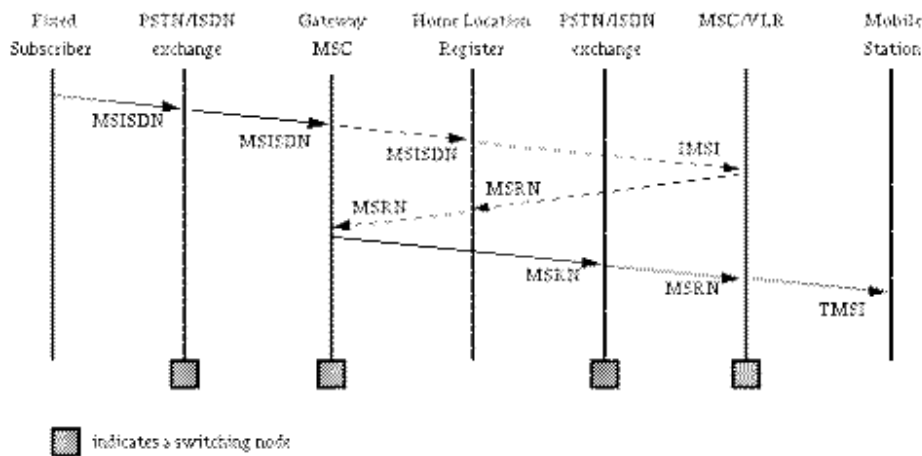
Procedura usko vezana uz kontrolu kretanja u sustavu je u pridjeljivanje odnosno oduzimanje IMSI koda. Oduzimanjem IMSI koda sustav se informira da je mobilna stanica nedostupna te nije potrebno slati informacije o eventualnom nadolazećem pozivu. Pozivatelj se najčešće obavješćuje putem govornog automata da je pretplatnik trenutno nedostupan.

Ukoliko se pretplatnik ponovo vrati u zonu pokrivanja dodjeljuje se IMSI kod, te se informira sustav da je pretplatnik dostupan.

Upravljački dio za kontrolu uspostavljanja i održavanja veza (CM), je odgovoran dodatnom nivou za kontrolu poziva i SMS usluga (Call control, CC). Koriste se ISDN protokoli (Q.931).

Ostale funkcije CC podnivoa uključuju odabir vrste usluga koje su omogućene u sustavu.

Poput prosljeđivanja poziva u fiksnoj mreži, gdje je telefonski aparat priključen na telefonsku mrežu, GSM pretplatnik može primati i vršiti pozive i na međunarodnom nivou. Broj kojim se vrši poziv mobilnoj jedinici je MSISDN broj i on je standardiziran (E.194 numbering plan). Taj broj predstavlja kodni broj zemlje, pozivni broj mjesta pretplatnika u kojem je prijavljen. Prvih nekoliko brojeva predstavlja također i kôd pretplatničkog HLR registra.



Slika 18: Procedura prosljeđivanja poziva

Nadolazeći poziv usmjerava se na GMSC ulaz. To je u principu komutirajući sklop koji ispituje pretplatnički HLR registar da dobije određenu informaciju, te stoga sadrži listu MSISDN brojeva prema njihovim odgovarajućim HLR registrima. Svaki davatelj GSM usluga ima po jedan GMSC.

Mobilna stanica šalje GMSC-u MSRN broj. MSRN brojevi određeni su zemljopisnim položajem, nisu dodijeljeni i poznati samom pretplatniku.

Procedura slanja počinje sa GMSC-om, gdje od pretplatničkog HLR registra traži informaciju o MSRN broju. HLR registar pohranjuje podatke iz trenutnog pretplatničkog VLR registra. MSRN broj se vraća u HLR registar i GMSC, koji opet može ponovo prosljeđivati novom MSC centru (Slika 18.).

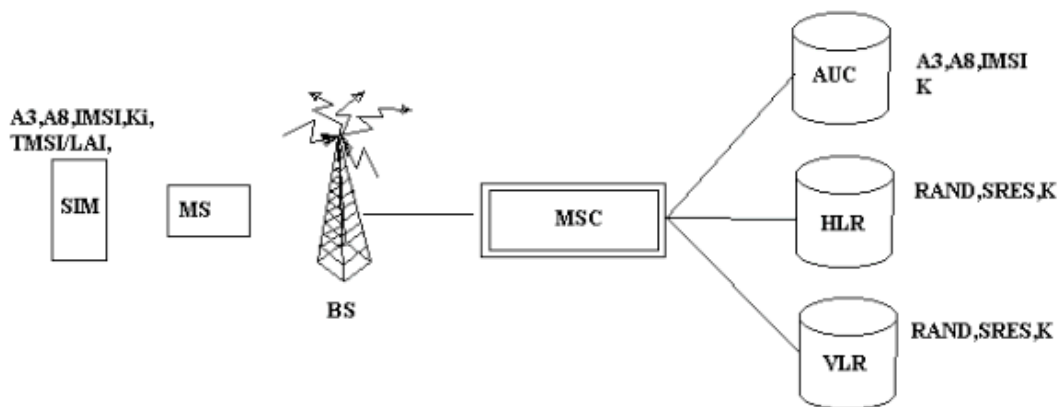
9.11. Sigurnost GSM sustava

Sigurnost GSM sustava opisana je u preporukama GSM sustava (*GSM recommendations 02.09, Security aspects 02.17, Subscriber Identity Modules 03.20, Security Related Network Functions i 03.21 Security Related Algorithms*). Sigurnost GSM-a podrazumijeva; zaštitu i tajnost identiteta pretplatnika, zaštitu pretplatničkih podataka.

Pretplatnik se u sustavu identificira IMSI brojem. Taj broj zajedno sa osobnim pretplatničkim brojem (Ki) sačinjava povjerljivu informaciju kojom sustav prepoznaje pretplatnika. Sheme za šifriranje i sigurnost GSM-a su dizajnirane na takav način da se tako osjetljive informacije nikada ne prenose preko radio kanala.

Razgovori se šifriraju korištenjem privremenog slučajno generiranog ključa za šifriranje (Kc). Mobilna stanica identificira se TMSI brojem koji izdaje GSM sustav i zbog dodatne sigurnosti može se periodički mijenjati (npr. za vrijeme prosljeđivanja poziva po ćelijama, *roaming*).

Sigurnosni mehanizmi GSM-a sastavljeni su od tri različita elementa: pretplatnički broj (SIM), GSM mobilne stanice i mreže. SIM kartica sadrži IMSI broj, osobni pretplatnički broj (Ki), algoritam za šifriranje (A8), algoritam za zaštitu (A3) i PIN broj. GSM uređaj sadrži algoritam za šifriranje A5 (Slika 19.).



Slika 19: Sigurnosni elementi GSM sustava

Centar za identifikaciju (AUC) sadrži bazu podataka o pretplatničkim podacima. Ti podaci sadrže IMSI, TMSI, LAI i osobni pretplatnički broj Ki za svakog korisnika. Ovakva raspodjela sigurnosnih elemenata i algoritama za šifriranje omogućuje vrlo visok stupanj sigurnosti od mogućeg prisluškivanja i neovlaštenog korištenja.

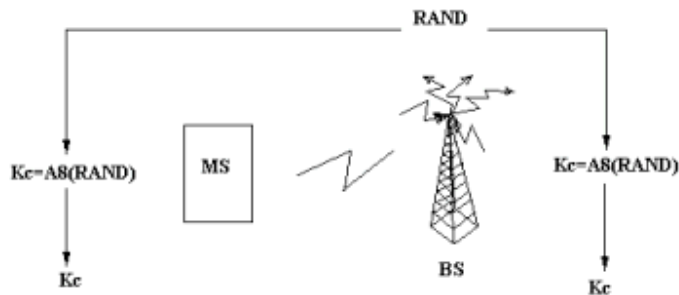
Shema prikazuje distribuciju sigurnosnih informacija kroz sva tri elementa GSM sustava, SIM, mobilnu stanicu i mreže. U samoj mreži sigurnosne informacije se dalje distribuiraju kroz AUC centar, te VLR i HLR registre. AUC centar generira RAND, SRES i Kc šifre koje se pohranjuju u HLR i VLR registrima.

9.12. Provjera vjerodostojnosti pretplatnika

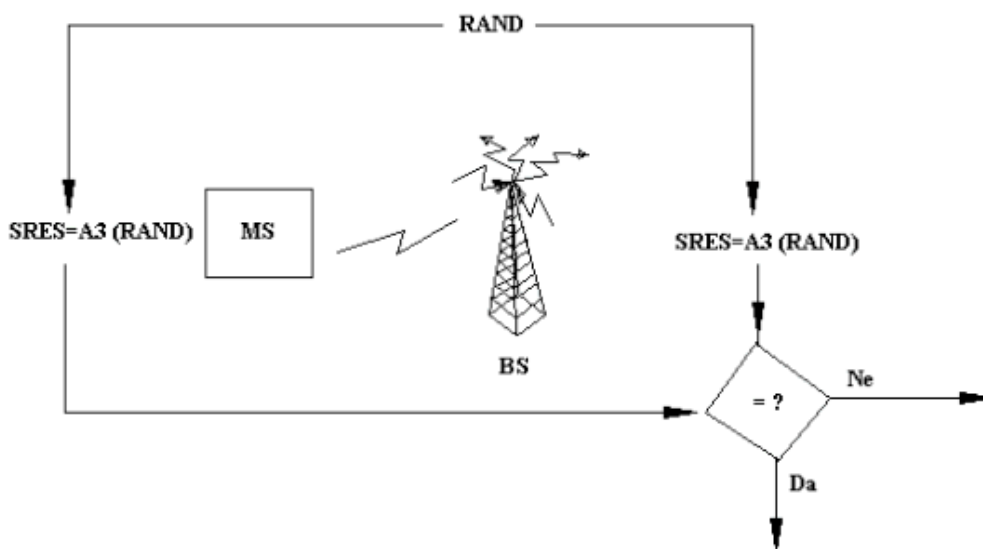
GSM mreža koristi za provjeru identiteta niz mehanizama za provjeru. Slučajni 128-bitni broj (RAND) šalje se mobilnoj stanici, koja računa 32 bitni kod raspoznavanja (SRES) baziran na šifriranju slučajnog RAND broja s A3 algoritmom koristeći pretplatnički identifikacijski ključ (Ki). Nakon što mreža primi pretplatnički SRES broj, vrši se ponovno izračunavanje tako da potvrdi identitet pretplatnika.

Potrebno je naglasiti da se pretplatnički identifikacijski ključ (Ki) **nikad** ne šalje putem radio kanala. Identifikacijski ključ je pohranjen u pretplatničkoj SIM kartici, te u AUC centru, HLR i VLR registrima. Ukoliko se izračunati SRES podudara, mobilna stanica se uspješno prijavljuje sustavu (Slika 20.).

Povjerljivi pretplatnički podaci IMSI i Ki nikad se ne distribuiraju putem radio kanala.



Slika 21: Šifriranje ključa

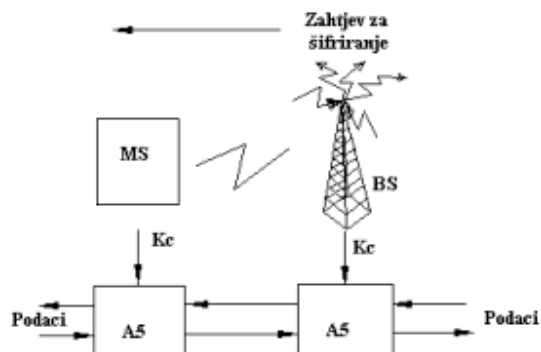


Slika 20: Procedura provjere vjerodostojnosti

9.13. Tajnost podataka i protokoli

SIM kartica sadrži algoritam (A8) za generiranje 64 bitnog ključa za šifriranje (Kc). Ključ za šifriranje se izračunava dodajući isti slučajni RAND broj (koji je korišten u procesu identifikacije), ključu generiranom A8 algoritmom sa osobnim pretplatničkim ključem Kc (Slika 21.).

Ključ Kc se koristi za šifriranje i dešifriranje podataka između mobilne i bazne stanice. Dodatni faktor sigurnosti je mogućnost promjene ključa za šifriranje, tako da je sustav dodatno zaštićen od prisluškivanja, te se može također mijenjati u vremenskim intervalima. Šifrirani glas i računalni podaci šifriraju se pomoću algoritma A5. Mreža šalje poseban zahtjev za šifrirane komunikacije, te mobilna stanica na zahtjev počinje šifrirati/dešifrirati korištenjem A5 algoritma i ključa za šifriranje Kc (Slika 22.).



Slika 22: Procedura šifriranja s algoritmom A5

Da bi se osigurala povjerljivost identiteta pretplatnika, koristi se TMSI. TMSI se šalje mobilnoj stanici nakon što je obavljena provjera identiteta i procedure za šifriranje. Mobilna stanica potvrđuje primitak. Za svako područje određen je i TMSI broj, te je valjan za samo za to područje. Izvan područja potreban je uz TMSI i LAI broj.

9.13.1. Duljina ključa i mogućnosti prijave

Uz pretpostavku da imamo uređaj za razbijanje šifri (1 milijun kombinacija u sekundi, što je po današnjem tehnološkom stupnju moguće), vrijeme potrebno za razbijanje 128 bitne šifre je izuzetno veliko.

Uzimajući u obzir da efektivna duljina šifre A5 algoritma je 40 bita (inače je 64) dobije se mnogo kraće vrijeme za razbijanje šifre (Tablice 8-9.).

Duljina ključa	32	40	56	64	128
Potrebno vrijeme	79 minuta	12.7 dana	2,291 godina	584,542 godine	10.8×10^{24} godine

Tablica 8: Tabelarni prikaz vremena potrebnog za razbijanje šifre (10^6 kombinacija/s)

Duljina ključa	1 dan	1 tjedan	1 godina
40	13	2	-
56	836,788	119,132	2,291
64	2.14×10^8	3.04×10^6	584,542
128	3.9×10^{27}	5.6×10^{26}	10.8×10^{24}

Tablica 9: Broj uređaja potrebnih za razbijanje šifre u određenom vremenu

Tabelarnim prikazom vrlo se lako vidi da GSM nije lako prisluškivati i ilegalno na tuđi račun koristiti usluge. Na zahtjev mnogih tajnih službi u zemljama Istočne Europe i Bliskog Istoka nije dozvoljena uporaba A5/1 algoritma, nego slabijeg A5/2.

Iako je dosta napisa u tisku (Cnn, ABC News, Time...) kako su pojedinci uspjeli razbiti šifre i ući u GSM mrežu, za sad je to bežičnim putem (bez kloniranja SIM kartice) moguće jedino sigurnosnim službama i telefonskim kompanijama koje pružaju GSM usluge.



Slika 23: Klonirana SIM kartica priključena na hand-held računalo

Najveća opasnost od ilegalne uporabe GSM-a je kloniranje, kopiranje SIM kartice.

Na ilegalnom tržištu postoje već uređaji za emulaciju SIM kartice tako da je najbolja zaštita čuvanje SIM kartice od moguće krađe (Slika 23.).

Ukoliko do krađe i dođe potrebno je čim prije prijaviti krađu GSM operateru tako da karticu proglasi ukradenom i onemogućiti pristup sustavu.

Međutim najveća zamjerka sklopovlju sustava je da se prilikom pristupa sustavu pretplatnik ne provjerava u bazi aktivnih pretplatnika, tj. ukoliko sustavu pristupi mobilna stanica sa kloniranom karticom sustav neće prepoznati prijevaru.

Projektanti nisu predvidjeli tu mogućnost te bi danas preinake na sustavima diljem svijeta koštale milijune dolara.

9.14. GSM u Hrvatskoj

CRONET je službeni naziv za hrvatski GSM sustav pokretne digitalne telefonije. Sa eksperimentalnim radom u Hrvatskoj GSM mreža je započela 1995. godine, dok je u ožujku 1996. započeo i službeni rad (Tablica 10.).

Frekvencijski opseg (predaja MS, predaja BS)	890-915 MHz i 935-960 MHz
Broj nosećih frekvencija	124
Broj radio kanala	124*8=992
Razmak između vala nosioca	200 kHz
Dupleksno razdvajanje	45 MHz
Širina jednog kanala	25 kHz
Maksimalna snaga BTS-a	25 W
Domet pokrivanja BTS-a	0.2 - 35 km
Max.propusnost govornog kanala	13.5 kb/s
Broj BTS-ova (stanje 6/98)	370
Broj domaćih pretplatnika (6/98)	69,000
Maksimalni kapacitet	200,000
Tip protokola prema javnoj telefonskoj mreži	CCITT No 7 (Blue book)
Roaming	automatski

Tablica 10: Tehnički podaci za CRONET

9.14.1. Dodatne GSM usluge

- **CLIP**-prikaz na zaslonu broja koji zove, omogućava prikaz broja s kojeg je upućen poziv.
- **CLIR**-tajnost broja kod poziva, onemogućava prikaz broja korisnika usluge na zaslonu aparata pretplatnika kojem je upućen poziv.
- **DATA**-dodjeljuje se poseban broj za slanje podataka do 9600 bauda, potrebno je imati uz aparat i GSM PCMCIA karticu i računalo.
- **FAX**-prijenos telefaksa, potreban hardver kao i za DATA opciju.
- **VMS**-glasovna pošta, omogućuje pretplatniku da presluša glasovne poruke, 10x30 sekundi

Od ostalih usluga CRONET podržava: zabrana svih odlaznih međunarodnih poziva, zabrana svih odlaznih poziva, poziv na čekanju, ispis računa sa specifikacijom, tajni pozivni broj, pretplatnički broj po izboru.

Iako je kapacitet pretplatnika 200,000, a trenutno ih ima 69,000+gostujući CRONET mreža je relativno loše projektirana. Na otocima, Dalmaciji i Primorju postavljen je manji broj BTS-ova što je zbog specifičnosti terena premalo, tako da je kvaliteta signala vrlo loša i često je nemoguće dobiti slobodan kanal.

Krajem 1998. godine počeo je rad nove GSM mreže VIP-Net.

9.15. Satelitske komunikacije

Satelitske komunikacije podrazumijevaju veći broj bežičnih repetitorskih stanica (satelita) kojima se mikrovalnim komunikacijama omogućuje komunikacija između geografski udaljenih područja. Zbog velike visine signal koji odašilje satelit, može pokriti veliko područje na zemaljskoj površini.

Svaki je satelit opremljen različitim tipovima transpondera (primopredajnik s automatskom predajom signala). Transponderi se sastoje od primopredajnika i antene prilagođene za određen frekvencijski spektar. Dolazeći signal se pojačava i reemitira na drugoj frekvenciji. Najveći broj satelita jednostavno reemitira dolazeći signal, koji se koriste najčešće kod TV, radio prijenosa i telefonije.

Satelitske komunikacijske kanale karakterizira:

- o široko područje pokrivanja
- o veće vrijeme kašnjenja signala
- o velika širina frekventnog pojasa
- o troškovi predaje signala su neovisni od udaljenosti prijemnika

Primljeni mikrovalni signal je vrlo male snage (nekoliko stotina pW).

Velika parabolična antena i niskošumno mikrovalno pojačalo su najbitniji dijelovi primopredajnika satelitske zemaljske stanice.

Satelitske veze mogu biti uspostavljene na različitim frekvencijskim područjima i koriste različite noseće frekvencije za prijem (zemaljska stanica-satelit) i predaju (satelit-zemaljska stanica).

Frekv. područje	Prijem (GHz)	Predaja (GHz)	Nedostaci
C	4 (3.7-4.2)	6 (5.925-6.425)	Interferencija sa zemaljskim vezama
Ku	11 (11.7-12.2)	14 (14.0-14.5)	Prigušenja prilikom kiša, oborina
Ka	20 (17.7-21.7)	30 (27.5-30.5)	Visoka cijena opreme
L/S	1.6 (1.610-1.625)	2.4 (2.483-2.500)	Interferencije sa ISM područjem

Tablica 11: Prikaz najčešćih frekvencijskih područja

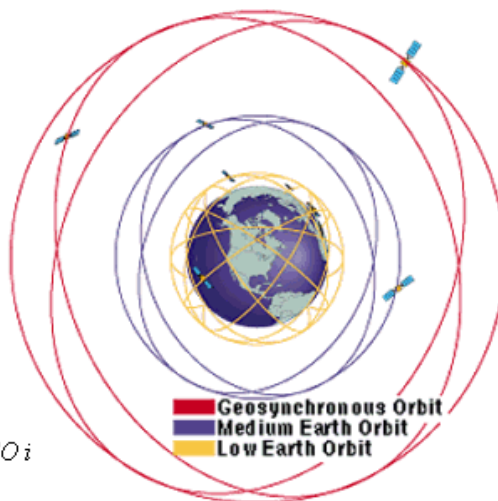


Slika 24: Pokrivanje područja signalom

Frekvencijsko područje C (4 GHz) je najviše korišteno kod satelitskih komunikacija prve generacije, međutim to frekventno područje danas se koristi za zemaljske mikrovalne veze.

Današnji trend je korištenje viših frekvencija, frekvencijskih područja Ku i Ka (11 i 20 GHz), međutim veliki problem kod prijenosa signala čine atmosferski utjecaji (kiša, snijeg, magla) (Tablica 11.). Moderni satelitski sustavi opremljeni su s više transpondera. Sateliti mogu usmjeriti signal na manje područje pokrivanja, dinamički mijenjati i preusmjeravati signal tako da mogu mijenjati područje pokrivanja (Slika 24.).

- LEO, *Low Earth Orbit*, nisko orbitalni
- MEO, *Medium Earth Orbit*, srednje orbitalni
- GEO, *Geostationary Earth Orbit*, geostacionarni



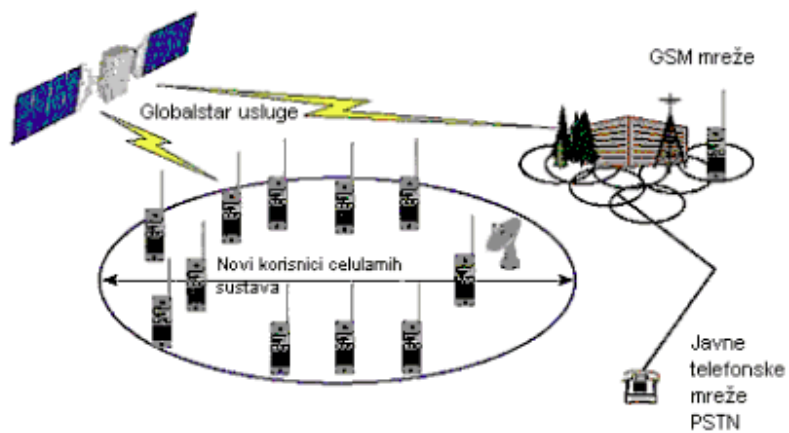
Slika 25: Satelitski sustavi LEO, MEO i GEO

Sateliti mogu biti postavljeni u orbitama sa različitim putanjama, visinom i oblikom putanje (kružna ili elipsasta).

Korisnici mobilnih uređaja zahtijevaju sustave koji su prilagođeni njihovim potrebama, upotrebom neusmjerenih antena i uređaja malih dimenzija kojim se omogućuje brz pristup globalnom komunikacijskom sustavu. Zahtjeva se *telefonska kvaliteta* govora i vrlo malo kašnjenje.



Slika 32: Parabolična antena zemaljske stanice



Slika 33: Nadopunjavanje javnih telefonskih mreža

Sustav će koristiti svi koji mnogo putuju: istraživači, znanstvenici, političari, turisti itd.

Omogućit će se upotreba solarnih telefonskih govornica u mjestima gdje bi uvođenje fiksne mobilne mreže bilo preskupo i neisplativo (npr. uz autoceste, na neprohodnim predjelima itd.).

Globalstar satelitska telefonija bit će mnogostruko jeftinija od današnjih skupih satelitskih telefona sa usmjerenom paraboličnom antenom.

Prema predviđanjima očekuje se 30 milijuna potencijalnih pretplatnika.

9.16. Zaključak

Temeljem postignutog sporazuma i potpisanog memoranduma dobiven je GSM, paneuropski standard za mobilne telekomunikacije. GSM sustavi su potpuno kompatibilni sa ISDN-om, tako da ih je lako implementirati u one mreže gdje je prijelazni period u digitalizaciji javnih telekomunikacijskih mreža već postignut.

Osnovna prednost digitalnog sustava je mnogo veći kapacitet u odnosu na analogne sustave, što se postiže tehnikom malih ćelija.

Same osobine GSM sustava iziskuju potpuno drugačiji pristup ćelijskom planiranju. Osnovne pretpostavke 900 MHz spektra su mali domet bazne stanice, jer je i snaga odašiljača bazne i mobilne stanice manja uz nekorištenje kanala susjednih ćelija. Time su se istokanalne interferencije smanjile na vrlo malu razinu. Digitalna tehnika pruža i zavidnu kvalitetu prijenosa govora, gotovo jednake onoj u fiksnoj mreži.

Zaštita od prisluškivanja je na vrlo visokoj razini, za razliku od analognih sustava gdje prisluškivanje razgovora nije neki problem. Osim digitalizacije govora provodi se preplitanje vremenskih blokova, šifriranje (algoritmi A3,A5,A8), kodiranje kanala tako da je svako amatersko prisluškivanje s današnjom tehnologijom nemoguće.

Osim prijenosa govora, GSM sustav omogućuje i priključak računala na mobilnu stanicu preko odgovarajuće PCMCIA kartice te je tako moguće slati računalne podatke (Email, Internet) i telefaks poruke do brzine 9600 bauda.

Posebna zanimljivost je i SMS, mogućnost slanja poruka duljine do 160 znakova svim pretplatnicima bez obzira dali su im mobilne stanice uključene.

GSM pruža mogućnost slobodnog kretanja radiomobilnih pretplatnika, primanje i odašiljanje poziva u svakom trenutku neovisno o tome u kojoj se zemlji nalaze. Ova funkcija naziva se međunarodno slobodno kretanje mobilnih pretplatnika i potpuno je automatizirana.

U odnosu na zastarjele analogne sustave snaga koju troši predajnik mobilne stanice je mnogo manja, te mobilna stanica može prema potrebi mijenjati snagu predajnog signala čime se produlji vijek autonomnog rada mobilne stanice.

Vodeći svjetski proizvođači telekomunikacijskih tehnologija razvili su sustave mobilne satelitske telefonije (Globalstar, Iridium). Sateliti će biti smješteni na niskoj orbiti tako da će svojim signalom prekrivati čitavu površinu Zemlje.

Mobilna stanica imat će mogućnost upotrebe oba standarda (Globalstar ili Iridium i GSM). Takvi sustavi će biti nadogradnja današnjim GSM sustavima i rješavat će probleme komunikacije u mjestima slabe pokrivenosti (pustinje, teško prohodna područja, mora...).

Iako je problem kvalitetne komunikacije riješen uvođenjem digitalne mobilne telefonije, vodeći svjetski proizvođači razvijaju nove sustave (UMTS), kojim se daje naglasak na čim veće brzine prijenosa digitalnog signala, prijenosom multimedijalnih podataka.

Osim prijenosa govora, zvuka, podataka, telefaksa, video slike, pretplatnik će imati mogućnosti vrlo brzog pristupa Internetu, te je cilj svega što efikasnije iskoristiti vrijeme modernog poslovnog čovjeka.