

1. UVOD I KRATAK ISTORIJAT

1.1 Značaj mobilnih sistema u savremenom svetu

Mobilni komunikacioni sistemi su danas svakako medju najznačajnijim telekomunikacionim sistemima koji rade u oblasti mikrotalasa. Zapravo, veoma brz razvoj mobilnih komunikacija predstavlja glavno obeležje razvoja telekomunikacija na kraju XX i početkom ovog veka. Već u periodu 1996-97. broj novih mobilnih pretplatnika sustigao je broj novih fiksnih pretplatnika. Danas je rast mobilnih mreža mnogo brži u odnosu na rast fiksnih mreža.

U zemljama u razvoju koje ranije nisu imale razvijenu telekomunikacionu infrastrukturu, mobilna mreža je zamena za nedostajuću fiksnu mrežu, tako da procenat učešća mobilnih veza u ukupnom broju telefonskih veza može biti i veći nego kod mnogih razvijenih zemalja. Tako, na primer, Kambodža, siromašna zemlja Jugoistočne Azije sa oko 10 miliona stanovnika, još od 1993. godine ima više mobilnih nego fiksnih pretplatnika, jer je fiksna mreža tokom dugogodišnjeg rata bila dosta oštećena. Hronološki, druga zemlja u svetu kod koje je broj mobilnih pretplatnika prevazišao broj fiksnih je Finska (1998). Ovo su, naravno, uslovili sasvim drugi razlozi: rano usvajanje mobilne telefonije, postojanje sopstvenog tehnološkog razvoja, visoki standard stanovnika, slobodna konkurenca itd.

1.2 Kratak istorijat

Mobilne komunikacije spadaju u *bežične komunikacije*. Era bežičnih komunikacija počinje 1860. godine u Engleskoj, postulatima elektromagnetskih talasa Maxwell-a. Eksperimentalna potvrda postojanja elektromagnetskih talasa se vezuje za Hertz-a, 1880. godine, u Nemačkoj. Marconi je 1896. objavio prvi patent iz sfere bežičnih komunikacija (bežična telegrafija). 1905. ostvaren je Prvi prenos govora i muzike bežičnim linkom. 1912. potapanje Titanika ukazalo je na potrebu za bežičnim komunikacijama u plovidbi; narednih godina je ustanovljena pomorska radio telefonija.

Prvi javni sistem mobilne telefonije predstavljen je 1946. godine u SAD od strane *Bell Telephone Laboratories*, a počeo je sa radom sledeće godine. Arhitektura prvih sistema mobilne telefonije iz četrdesetih godina bila je takva da su pokrivali relativno široke oblasti, uz korišćenje jedne bazne stanice koja je obično bila smeštena na vrhu neke visoke zgrade. Centralni radio predajnik u baznoj stanicici emitovao je signal velikom snagom obezbeđujući vezu sa mobilnim korisnicima na udaljenosti i do 100 km od bazne stanice.

U početku, kod mobilnih telefonskih sistema korišćeno je ručno uspostavljanje veze. Prvi automatski sistem počeo je sa radom 1956. godine.

Prvi sistemi zahtevali su širinu opsega od oko 120 kHz za prenos jednog govornog kanala. Sa razvojem FM tehnologije radio kanali postajali su sve uži. Početkom šezdesetih godina razvijeni su sistemi koji su zahtevali opseg učestanosti širine 10 do 30 kHz po kanalu. Time se povećao broj kanala, međutim i pored toga kapaciteti sistema su bili nedovoljni da zadovolje zahteve sve većeg broja korisnika. Zagуšenja u sistemu su bila česta sa verovatnoćom blokade od preko 20%, a čak i znato veća u vremenu glavnog saobraćajnog časa. Sistemi su zbog toga dosta često bili praktično neupotrebljivi.

Navedeni problemi nametnuli su potrebu za restrukturiranjem sistema mobilne telefonije. 1971. godine BTL predstavlja novu arhitekturu za mobilne komunikacije danas

poznatiju kao celularni sistemi. 1977. godine američka Federalna komisija za komunikacije (FCC) odobrava AMPS (*Advanced Mobile Phone System* - napredni servis mobilne telefonije), a isto telo 1981. godine odobrava korišćenje frekvencijskog opsega širine 40 MHz unutar opsega 800-900 MHz za celularne sisteme. Trideset najvećih komunikacionih kompanija u SAD dobijaju 1982. godine dozvolu od FCC za razvoj i puštanje u rad celularnih sistema. U Americi prvi komercijalni celularni sistem za mobilnu telefoniju počeo je sa radom u Čikagu oktobra 1983. godine.

AMPS i ostali slični sistemi poznati su kao mobilni sistemi prve generacije, i sa njima praktično počinje era prave komercijalne primene mobilnih komunikacija. Celularni sistem je podrazumevao potpuno novu arhitekturu mobilne mreže. Mreža se sastoji od više distribuiranih baznih stanica koje pokrivaju znatno manje oblasti, a čiji predajnici rade sa višestruko manjim snagama i sa antenama na znatno manjim visinama. Novi koncept mreže omogućava višestruko korišćenje raspoloživog frekvencijskog opsega istovremenim korišćenjem istih radio kanala od strane više baznih stanica. Interferencija izmedju celija koje koriste isti set radio kanala izbegнутa je njihovim prostornim razmeštanjem na dovoljne udaljenosti.

Kod AMPS sistema je korišćena analogna tehnologija. Kao tehnika višestrukog pristupa za ostvarivanje veze izmedju mobilnih pretplatnika i bazne stanice korišćen je multipleks na bazi frekvencijske raspodele kanala (*FDMA - Frequency Division Multiple Access*). AMPS sistem koristio je frekvencijski opseg ukupne širine 50 MHz (od 824 do 849 MHz za vezu izmedju mobilnog korisnika i bazne stanice i od 869 do 894 MHz za vezu izmedju bazne stanice i mobilnog korisnika). U ovom opsegu smešteno je 832 kanala, po 416 kanala za svaki smer prenosa.

Paralelno, i u drugim delovima sveta počeli su da se razvijaju sistemi mobilne telefonije.

1969. godine Skandinavske zemlje (Švedska, Finska, Norveška i Danska) formirale su radnu grupu čiji je zadatak bio da se postavi zajednički celularni sistem za ove zemlje. Operateri i proizvodjači opreme u ovim zemljama razvijali su zajednički standard. 1981. je zahvaljujući tome uveden tzv. NMT (*Nordic Mobil Telephone*). U početku je radio u frekvencijskom opsegu od 450 MHz, a kasnije u opsegu od 900 MHz. Međutim, prvi NMT sistem nije startovao u Skandinavskim zemljama, već u Saudijskoj Arabiji leta 1981., dok je u Švedskoj i Norveškoj uveden u jesen 1981., a u Finskoj i Danskoj 1982. godine.

U Velikoj Britaniji je 1985. uveden *Total Access Communication System* (TACS) standard koji se primenjuje u frekvencijskim osezima od 800 i 900 MHz.

Međutim, Japan je zapravo prva zemlja koja je uvela celularne sisteme, i to 1979. Broj mobilnih korisnika u Japanu je u početku bio jako mali usled monopolja koji je držao *Nippon Telegraph and Telephone* (NTT) što je rezultovalo visokim cenama i jakom kontrolom tržišta. Korišćena je varijanta AMPS razvijena od strane *Nippon Electronic Corporation* (NEC), pri čemu je sistem radio na 800 MHz. Nakon uvodjenja konkurenčije, kasnih osamdesetih pojavio se JTACS - Japanska verzija TACS analognog standarda.

Krajem osamdesetih godina pojavili su još neki sistemi mobilne telefonije, koji su predstavljali modifikacije postojećeg AMPS sistema (i u opsegu 1800-2000 MHz).

Sistemi prve generacije imali su dosta nedostataka kao što su: skromne karakteristike u pogledu kvaliteta signala, mali kapacitet, ograničena zona pokrivanja, nekompatibilnost izmedju pojedinih sistema u različitim zemljama itd.

Početkom devedesetih godina postalo je jasno da različite analogne mreže ne mogu više opstati pod pritiskom sve većih zahteva korisnika za većim kapacitetom, kvalitetnijim signalom i dodatnim uslugama. Ubrzani razvoj doveo je početkom devedesetih godina do sistema mobilne telefonije druge generacije. Ipak, analogni sistemi se još uvek koriste, naročito u Americi, Kini, Istočnoj Evropi i Rusiji kao i u nekoliko zemalja u Africi. Od analognih sistema danas se najviše koristi AMPS.

Sistemi II generacije su zasnovani na digitalnoj tehnologiji i u odnosu na prvu generaciju imaju mnogo bolje karakteristike. Prednosti digitalog prenosa ogledaju se u sledećem: potreban je manji odnos signal/šum za isti kvalitet govornog servisa, omogućen je veći kapacitet sistema, kompatibilnost sa digitalnom fiksnom mrežom itd. Ostvaren je bolji kvalitet zvuka, a takodje je postalo moguće uvesti širok spektar servisa integrisanih sa govornim servisom kao npr. transfer podataka malim brzinama i slično. Veliki značaj kod sistema druge generacije ima standardizacija. Tako, na primer, u Evropi je razvijen jedinstven GSM (*Global System for Mobile Communications*) sistem koji je zamenio veliki broj različitih, medjusobno nekompatibilnih celularnih sistema prethodne generacije.

Danas je u toku prelaz ka trećoj generaciji sistema mobilnih komunikacija (tzv. 3G sistemi). Na prelazu izmedju druge i treće generacije mobilnih sistema koriste se sledeći sistemi: HSCSD, GPRS i EDGE (mnogi EDGE svrstavaju već u III generaciju).

Tabela 1 Karakteristike I, II i III generacije mobilnih sistema

PRVA GENERACIJA	DRUGA GENERACIJA	TREĆA GENERACIJA
glavni standardi: AMPS, TACS, NMT	glavni standardi: GSM, CDMA (IS-95) D-AMPS (TDMA IS-136), PDC	glavni standardi: WCDMA
glavna tehnologija: FDMA	glavna tehnologija: TDMA	glavna tehnologija: CDMA
samo glasovna komunikacija	glasovna komunikacija + prenos podataka	mnoštvo usluga
samo makro ćelije	makro / mikro / piko ćelije	makro / mikro / piko ćelije
pokrivanje van zgrada	kontinualno prostorno pokrivanje unutar i van zgrada	kontinualno prostorno pokrivanje unutar i van zgrada
odvojena od javne telefonske mreže (PSTN)	komplementarna prema PSTN	integrirana sa PSTN, komplementarna sa IT ponudama (mreže za prenos podataka, Internet, VPN)
fokus na poslovnu klijentelu	fokus na obične i poslovne korisnike	maksimalno orijentisana ka korisničkim potrebama

U narednim godinama smatra se da će preovladati mobilni bežični prenos u odnosu na fiksne mreže. Medutim, s obzirom na postojeću infrastrukturu i činjenicu da je segment fiksne mreže još uvek veoma važan, posebno za velika rastojanja, ono što će nesporno karakterisati dalji razvoj komunikacija je konvergencija fiksnih i mobilnih telekomunikacija. Tržište telekomunikacija nameće ovaj proces, a pokretačku snagu čine: limitiranje monopolskog položaja postojećih telekomunikacionih kompanija, pojava novih operatera, oštra i stalno rastuća konkurenca izmedju operatera, kao i novi sve izraženiji

zahtevi korisnika za objedinjavanjem fiksne i mobilne mreže. Dakle, cilj kome se teži je objedinjavanje današnjih heterogenih komunikacija koje se sastoje iz mnoštva fiksnih, celularnih, bežičnih i računarskih mreža.

Uspostavljanje nacionalne telekomunikacione politike u odnosu na razvoj treće generacije mobilnih komunikacija i konvergenciju fiksnih i mobilnih komunikacija, predstavlja zadatak sa kojim će se brzo suočiti odgovarajući državni resori i telekomunikacione kompanije. Državne i privatne telekomunikacione kompanije treba da reformišu svoju strategiju kako bi bile konkurentne na tržištu širokopojasnih servisa. Sve ovo, naravno, treba da prati i odgovarajuća regulativa. U zemljama koje su na nižem nivou razvoja i koje tek uspostavljaju regulacionu strukturu u ovoj oblasti, pruža se šansa da se od početka uspostavi integrisani regulatorni okvir.

Pomenuti trendovi u oblasti telekomunikacija ne mimoilaze ni našu zemlju, tako da ovim problemima treba pokloniti maksimalnu pažnju i načiniti korake da se pripreme uslovi za uvodjenje novih tehnologija, novih odnosa na tržištu i regulative u ovoj oblasti.

2. STANJE MOBILNIH TELEKOMUNIKACIJA U SVETU

2.1 Uvod

Kada se posmatra broj novih fiksnih i mobilnih preplatnika u svetu, trenutno je ogromna prednost na strani mobilne telefonije. Praktično, već u periodu 1996-97. broj novih mobilnih preplatnika sustigao je broj novih fiksnih preplatnika. Danas, po svim pokazateljima, rast mobilnih celularnih komunikacija je mnogo brži u odnosu na rast fiksnih mreža. Prema podacima iz maja meseca 2005, globalni GSM (*Global System for Mobile Communications*) sistem obuhvata 208 zemalja sa ukupno 658 mobilnih operatera. Danas je sigurno taj broj veći.

Medjutim, postojeći pejsaž mobilnih sistema sadrži mešovite analogne i digitalne sisteme sa različitim mrežama koje često postoje i u istoj zemlji.

U tabeli 2.1 prikazana je raspodela mobilnih sistema po primjenjenoj tehnologiji, u pojedinim regionima sveta, dok je u tabeli 2.2 pregled broja mobilnih preplatnika iz decembra 2004. godine.

Tabela2.1 Tipovi mobilnih sistema u pojedinim regionima

Zemlja	Tehnologija
Evropa	GSM TACS, NMT (analogna)
Afrika	GSM TACS, AMPS i NMT (analogna)
Severna Amerika, Južna Amerika	D-AMPS (TDMA IS-136) CDMA (IS-95) GSM ostalo, uključujući analognu AMPS
Azija-Pacifik	GSM CDMA D-AMPS (TDMA IS-136) PDC ostalo, uključujući analogne sisteme

Tabela 2.2 Neki podaci o stanju u svetu iz decembra 2004.

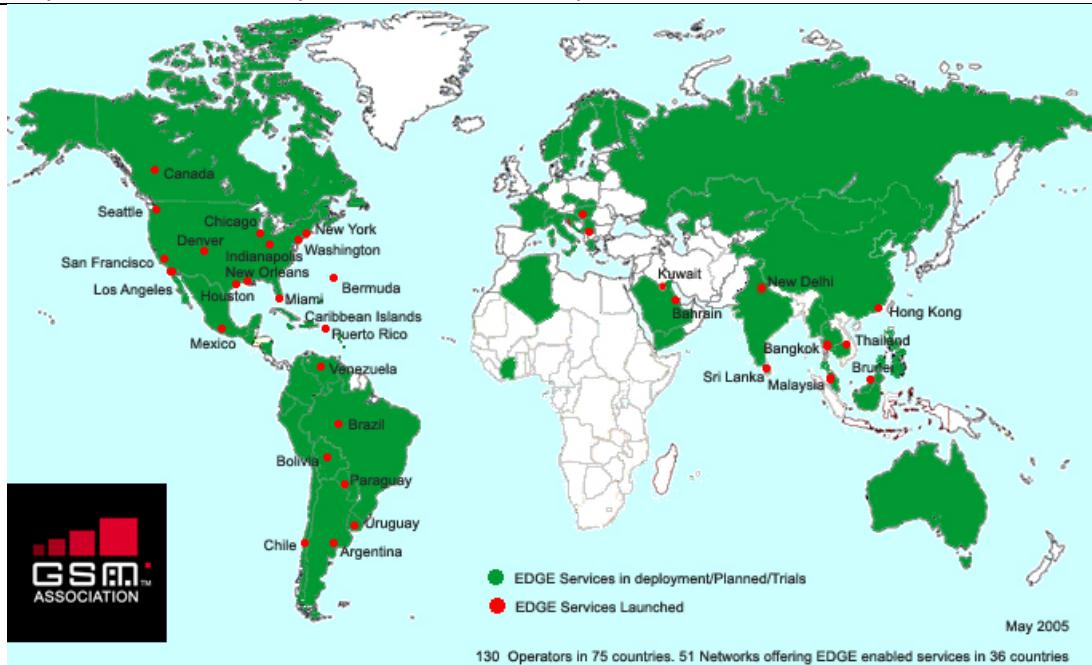
12/2004	
Mobilnih korisnika ukupno u svetu	1.5 milijardi
Analognih korisnika	34 miliona
GSM korisnika u scetu	1.25 milijardi
CDMA korisnika u svetu	202 miliona
TDMA korisnika u svetu	120 miliona
3G korisnika u svetu	130 miliona
Mobilnih korisnika u Evropi	342 miliona
Zemlja sa najviše pretplatnika	Kina (300 miliona)
#1 proizvodjač mobilnih telefona 2004	Nokia
#1 proizvodjač infrastrukture za mob. kom.	Ericsson
#1 operater u Evropi	T-Mobil (28 miliona)
#1 operater u Africi	Vodacom (11 miliona)
#1 operater u Aziji	Unicom (153 miliona)
#1 operater u Japanu	DoCoMo
Poslato SMS u svetu u prvom kvartalu 2004	135 milijardi
Mesečno se u svetu šalje po korisniku	36 SMS poruka

2.2 Stanje mobilnih komunikacija u Evropi

Evropa je predstavljala zahvalno tržište i plodno tle za razvoj druge generacije mobilnih sistema, zahvaljujući tehnološkom napretku, ali i značajnim promenama u regulatornom okruženju, što je bilo veoma podsticano evropskim političkim vizijama. Kao rezultat, stvorena je tzv. "familija" GSM sistema. Veliki uspeh GSM sistema u Evropi ogleda se i po izuzetnom porastu broja pretplatnika, koji se kretao i više od 50% godišnje. Otvorenost tržišta, žestoka konkurenca i trend pada cena karakterišu oblast mobilnih komunikacija u većini razvijenih evropskih zemalja.

Nordijske zemlje prednjače u svakom pogledu kada su u pitanju mobilne komunikacije. Medju njima, na prvom mestu svakako je Finska. Ona je rano ušla u osvajanje ove tehnologije, usvojila jedinstveni digitalni standard, a istovremeno otvorila širom vrata slobodnoj konkurenciji na tržištu. Ostali bitni faktori bili su: prisustvo velikog proizvodjača mobilnih aparata Nokia i njegovo fokusiranje na odredjene ciljne grupe stanovništva, niska cena mobilnih telefona, itd. Značajni koraci napred u drugoj polovini protekle dekade uključili su agresivno uvodjenje servisa podataka, kao npr. SMS - servis kratkih poruka, čemu je dat prioritet u odnosu na govorni servis. Već sada u populaciji od 15-25 godina mobilni aparati se više koriste za transfer podataka nego za govorne pozive.

Uvođenjem GPRS (*General Packet Radio System*) tehnologije omogućeno je korišćenje mobilnog Interneta i prenos multimedijalnog sadržaja. Sve veća popularnost mobilnog Interneta i multimedije, kao i narastajući zahtevi korisnika imali su za posledicu razvoj novih tehnologija sa još većim protokom podataka - EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) i WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Na slici 2.1 je prikazano stanje EDGE servisa u svetu u maju 2005.

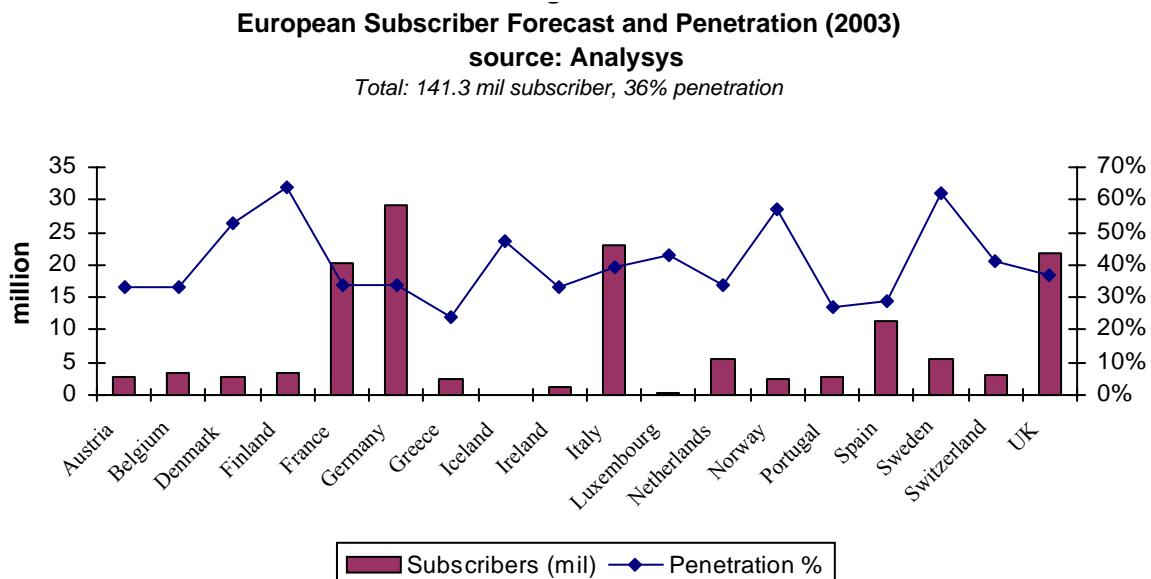


Slika 2.1. Rasprostranjenost EDGE servisa u svetu

Veliko tržište za mobilne komunikacije predstavljaju i zemlje u tranziciji. Madjarska je, na primer, pre oko deceniju i po bila na pretposlednjem mestu u Evropi po pitanju telekomunikacione infrastrukture, gora situacija bila je samo u Albaniji. Na 100 stanovnika dolazilo je manje od 10 telefonskih priključaka. Sada je Madjarska po pitanju mobilne telefonije na prvom mestu u odnosu na svoje susede u tranziciji, a pretekla je čak i neke zemlje iz EU. Slično je u Poljskoj, Češkoj itd.

Na osnovu sporazuma Svetske trgovisne organizacije (World Trade Organization's - WTO) o liberalizaciji telekomunikacionog tržišta koji je stupio je na snagu 1998., došlo je do značajnih promena u Evropskoj tekomunikacionoj industriji - pojavi novih kompanija, udruženja i servis provajdera. Porast broja mobilnih pretplatnika u Evropi bio je izuzetno velik i iznosio je 60% na godišnjem nivou.

Na Sl. 2.3 prikazani su broj mobilnih korisnika i procentualna zastupljenost (penetration) u nekim zemljama Evrope u 2003. godini.



Slika 2.3 Broj mobilnih korisnika i procentualna zastupljenost u zemljama Evrope

Prema podacima od 1. avgusta 2004. godine, ukupan broj mobilnih pretplatnika u Evropi dostigao je 342 miliona, što predstavlja 87.63% ukupne populacije.

2.3 Vodeći operateri i proizvodjači mobilne opreme

Vodeći mobilni operateri u Evropi, prema broju pretplatnika, u avgustu 2004. godine su:

1. T-Mobile Germany - 27.18 miliona;
2. TIM Italy - 25.74 miliona;
3. Vodafone Germany - 23.83 miliona;
4. Orange France - 19.30 miliona;
5. Vodafone Italy - 19.70 miliona;
6. Telefonica Moviles Spain - 18.69 miliona;
7. T-Mobile UK - 15.06 miliona;
8. Orange UK - 13.75 miliona;
9. O2 UK - 13.60 miliona;
10. Vodafone UK - 12.98 miliona.

Proizvođači mobilne opreme nastoje da zadovolje sve veće zahteve mobilnih korisnika, kako u pogledu mobilnih telefona, koji su sada ustvari pravi multimedijalni uređaji, tako i u pogledu opreme, zahvaljujući kojoj će mobilni operateri obezbediti brojne servise sa zadovoljavajućim kvalitetom.

U tabeli 2.3 prikazani su najveći proizvođači mobilnih uređaja prema procenjenoj prodaji mobilnih uređaja (terminala i infrastrukture).

Tabela 2.3 Vodeći proizvođači mobilnih uređaja prema podacima iz drugog kvartala 2004. godine

Nokia	29.7%
Motorola	15.8%
Samsung	12.1%
Siemens	6.9%
Sony Ericsson	6.6%
LG	6%

3. FREKVENIJSKI SPEKTAR I REGULATIVA

3.1 Uloga medjunarodnih organizacija

RF spektar je ograničeni prirodni resurs kao ugalj ili nafta i zbog toga treba da bude korišćen na adekvatan i regulisan način. Različiti servisi kao što su mobilne komunikacije, radiodifuzija, satelitske komunikacije, fiksni zemaljski sistemi itd. treba da podele taj ograničeni spektar. Svaki od servisa treba da se razvija tako da ne prouzrokuje interferenciju sa nekim drugim servisom. Zadatak da dodeljuje i kontroliše korišćenje pojedinih delova frekveničkog spektra pripada telu pod nazivom Internacionala Telekomunikaciona Unija (ITU), sa sedištem u Ženevi. ITU je telo za medjunarodnu standardizaciju uspostavljeno od strane Ujedinjenih Nacija.

Dva osnovna ogranka ITU od značaja za oblast radio veza su:

- ITU-T (ranije CCITT) - *Telecommunication sector*
- ITU-R (ranije CCIR) - *Radiocommunication sector*.

Radi lakše koordinacije, svet je od strane ITU-a podeljen na 3 regiona:

- Region 1: obuhvata Evropu, Srednji Istok, Afriku i prostor bivšeg Sovjetskog Saveza
- Region 2: obuhvata Severnu i Južnu Ameriku
- Region 3: obuhvata Aziju, Australiju i Pacifik.

Da bi se postigla harmonizacija izmedju zemalja u oblasti regulative, ITU-R periodično održava konferencije pod nazivom WRC - *World Radio Conference*, na kojima se izmedju ostalog definišu medjunarodna pravila za dodelu frekvenčija.

Neke ingerencije ITU je preneo na tela koja su nešto niže u hijerarhiji. Tako, na primer, o navedenim pitanjima u Evropi se takodje staraju:

ERC - European Radiocommunication Committee

CEPT - European Conference of Postal and Telecommunications

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

3.2 Plan raspodele frekvenčija

ITU je načinila plan raspodele (dodeli) frekvenčija na svetskom nivou. Izvod iz tog plana koji se odnosi na neke od mobilnih sistema I i II generacije dat je u tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Frekvenički opsezi i njihova primarna namena

Region	Frekvenički opseg (MHz)	Namena
Evropa	453 - 457 463 - 467	NMT
	890 - 915	GSM
	935 - 960	
	1710 - 1785 1805 - 1880	
SAD	824 - 849 869 - 894	AMPS, TDMS, CDMA
	1850 - 1910 1930 - 1990	GSM, TDMA, CDMA
Japan	810 - 826 940 - 956 1429 - 1465 1477 - 1513	PDC

Kada su u pitanju GSM (*Group Speciale Mobile, Global System for Mobile*) sistemi, originalni frekvenčijski opseg je **900 MHz**. Međutim, isto tako rasprostranjeni su i sistemi koji rade na **1800 MHz**, odnosno na **1900 MHz**, poznati kao GSM1800 (ili DCS1800) i GSM1900 (ili PCS1900) respektivno. Poslednja dva sistema se razlikuju od prvog prvenstveno po korišćenju drugih frekvenčijskih opsega, ali i po tome što je kod njih zastupljen koncept mikrocelijske strukture (manja zona pokrivanja za svaku celiju).

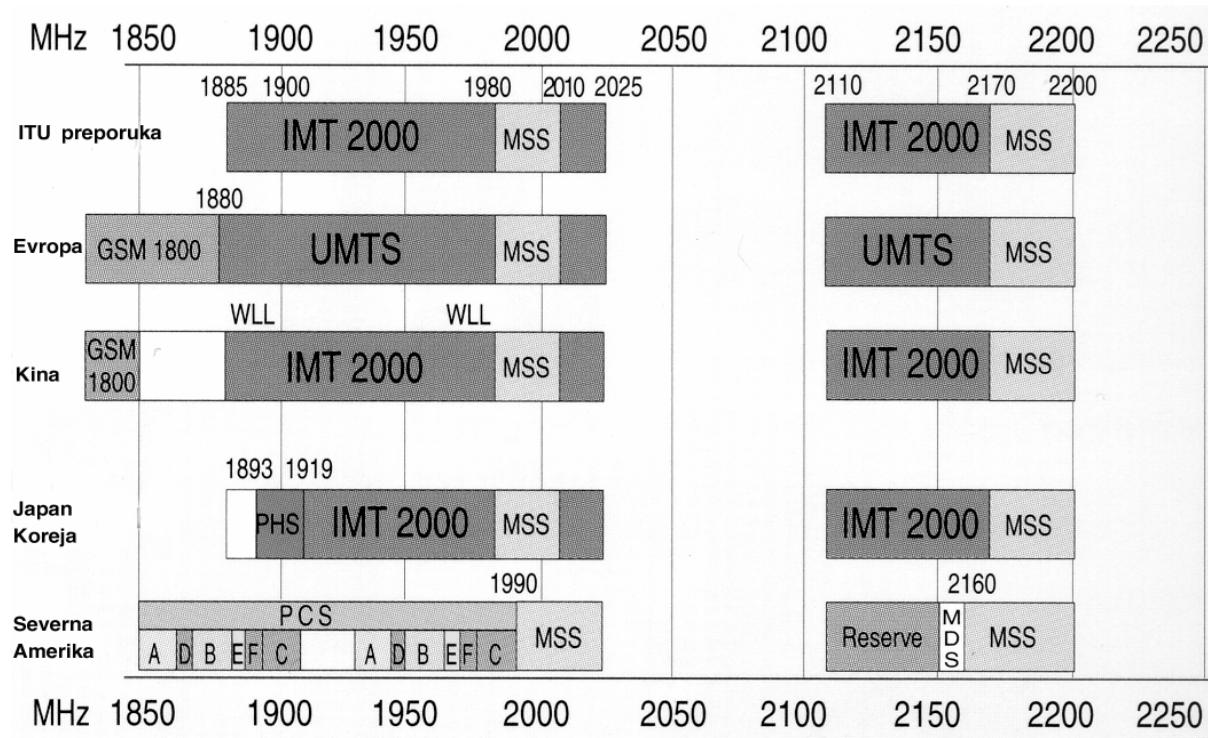
U cilju rada na standardizaciji mobilnih sistema 3. generacije pod pokroviteljstvom ETSI-ja bio je formiran tzv. UMTS Forum. To je medjunarodna, nezavisna, neprofitabilna organizacija čiji je cilj razvoj IMT-2000/UMTS standarda (standarda za 3. generaciju mobilnih sistema). Kao rezultat dugogodišnjih npora, UMTS Forum je usvojio preporuku IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*). IMT-2000 je termin koji koristi ITU za skup standarda koji su usvojeni na globalnom nivou, a koji treba da objedini različite kopnene, satelitske, fiksne i mobilne sisteme koji su trenutno u upotrebi ili u procesu razvoja.

Za sisteme 3. generacije planirani su opsezi:

1885 - 2025 MHz

2110 - 2200 MHz.

Slika 3.1 prikazuje frekvenčijske raspodele u pojedinim regionima u odnosu na ITU preporuke.



Slika 3.1 Raspodela opsega u zavisnosti od regionalnih
MSS-Mobile Satellite Service,
MDS-Multipoint Distribution Service/Mobile Data Service

Međutim, predviđa se, zbog procenjenog širenja tržišta, da se moraju dodeliti dodatni opsezi za 3G sisteme. Na primer, servisi vezani za Internet su znatno povećali nivo digitalnih

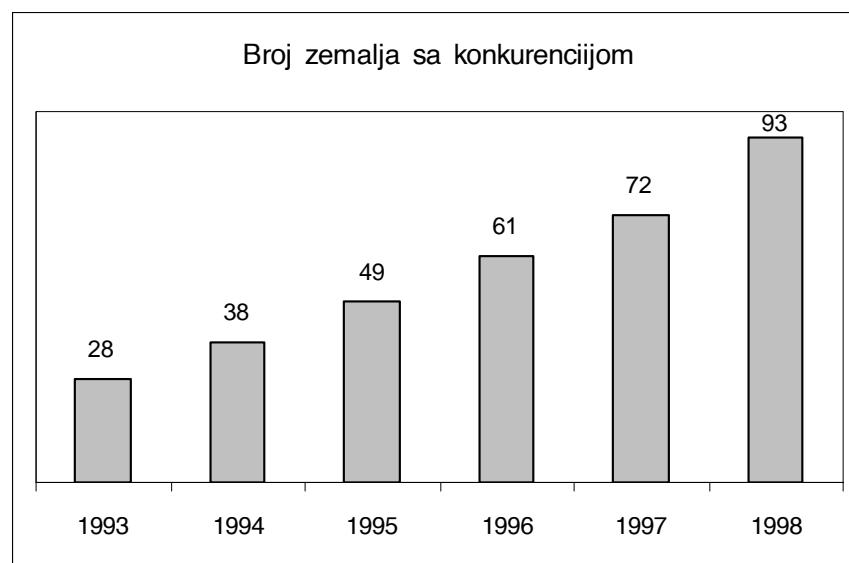
komunikacija u poslovnom svetu. Dodatnim proširivanjem frekvenčijskih opsega osigurao bi se stabilni dugoročni razvoj tržišta mobilnih komunikacija.

3.3 Izdavanje licenci

Za razliku od obimne regulative kada su u pitanju fiksne mreže, ono što je do sada karakterisalo mobilne komunikacije je nastojanje da regulisanje mobilnih servisa bude minimalno, da preterana regulacija ne bi gušila razvoj. Kako su mobilni sistemi nastajali u vreme kada su fiksne mreže već bile razvijene, mobilni servisi su često posmatrani kao dodatni servisi koji su izvan regulative osnovne telefonije.

Medutim, mora se reći da postoji potreba za nekim stepenom minimalne regulative, ako ne iz drugih razloga, onda da bi se osigurao rad bez frekvenčijske interferencije. Jedan od načina je da se ograniči broj operatera. Ograničenja u dodeli frekvencija, zajedno sa velikim nivoom zahtevanih početnih investicionih ulaganja (ili usled velikih taksi za licencu ili usled troškova izgradnje mreže ili oba), predstavljaju barijeru koja sigurno utiče na porast broja operatera, tako da mobilna celularna industrija ipak još uvek ne predstavlja primer savršeno konkurentskog tržista. Štaviše, postoje neka područja gde zbog zadržavanja monopola jednog operatera konkurenca uopšte ne funkcioniše.

Na sreću, broj zemalja koje ne dozvoljava konkurenčiju u oblasti mobilnih komunikacija, stalno se smanjuje. Na Slici 3.2 prikazan je broj zemalja sa konkurenčijom u oblasti mobilnih komunikacija u periodu 1993-1998, na osnovu stanja u 206 zemalja.



Slika 3.2 Broj zemalja sa konkurenčijom u oblasti mobilnih komunikacija

Postavlja se pitanje, tamo gde postoji konkurenčija, koliko operatera treba dozvoliti? Tu ne postoji jednostavan odgovor. Na primer, u Velikoj Britaniji, ubrzan je porast broja mobilnih preplatnika kada je povećan broj licenci sa dva na četiri operatera. Medutim, pitanje je zašto su u zemlji sa četiri mobilna operatora cene još uvek više od cena u nordijskim zemljama koje imaju manji broj operatera.

Sasvim je jasno da dobra pravno-tehnička regulativa može da uvede zdravu konkurenčiju i stvori klimu koja će odgovarati interesu korisnika. Pod pravno-tehničkom regulativom

smatramo definisanje pravila za dobijanje licence za rad operatera, prava i obaveze operatera prema državi i korisnicima, prava i obaveze korisnika prema operaterima i državi, tehničke uslove koje mora oprema u mobilnim komunikacijama da zadovoljava i na kraju opseg ili opsege frekvencija koji su na raspolaganju mobilnim operaterima. U stvari, nemoguće je tačno predvideti sve probleme koji će se javiti, pa prema tome i utvrditi konačnu regulativu.

Da bi se definisala pravna regulativa treba razrešiti sledeća pitanja:

- Koliko licenci se možu dodeliti?
- Po kom kriterijumu bi se dodeljivale licence?
- Da li licence treba da definišu tehnologiju koja će se koristiti?
- Da li će se dodeljivati regionalna, nacionalna ili kombinovana licenca za pružanje mobilnih usluga?
- Da li će pokrivenost koju obezbeđuje buduća mreža i cenovnik biti uslov za dobijanje licence?

To su sve još uvek otvorena pitanja.

4. PROSTIRANJE KOD MOBILNIH KOMUNIKACIJA

4.1 Karakteristike radio kanala za mobilne komunikacije

4.1.1 Prostiranje signala

U slobodnom prostoru radio signali visokih frekvencija se prostiru slično svetlosnim signalima, tj. pravolinijski. Takva prava linija izmedju predajnika i prijemnika naziva se LOS (*line-of-sight*).

Ukoliko se prostiranje odvija u vakuumu, primljena snaga obrnuto je сразмерна kvadratu rastojanja izmedju predajnika i prijemnika, jer se energija distribuira po sferi poluprečnika koji odgovara rastojanju. Ovo slabljenje nazivamo "slabljenje u slobodnom prostoru".

U prisustvu atmosfere pojavljuju se dodatna slabljenja na putu signala. Ono zavisi od frekvencije, dužine puta itd.

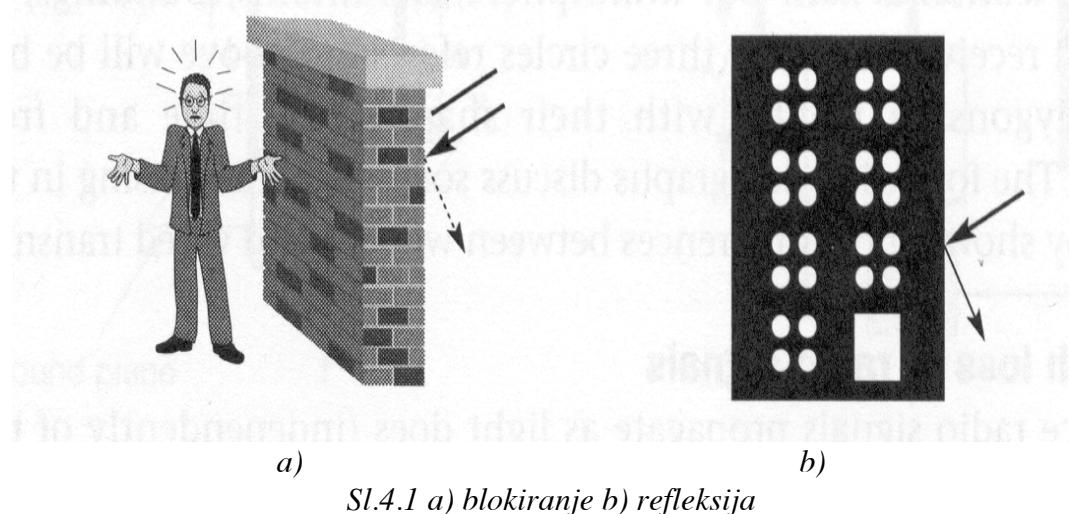
Radio talasi takodje mogu prodirati u objekte. Generalno, ova pojava je više izražena ukoliko je frekvencija niža. Obrnuto, što je frekvencija viša, utoliko se radio talasi ponašaju sličnije svetlosnim talasima.

4.1.2 Efekti prostiranja kod mobilnih komunikacija

Mobilni telefoni se, izmedju ostalog, koriste u urbanim sredinama, unutar zgrada, u brdovitim predelima itd. U takvim slučajevima optička vidljivost izmedju predajnika i prijemnika retko se može ostvariti.

Visine baznih stanica su reda veličine tridesetak metara i one se normalno postavljaju na isturenim mestim gde u neposrednoj blizini nema prepreka. Međutim, mobilni prijemnici se nalaze mnogo niže od prirodnih i veštačkih objekata u okolini. Tipična visina na kojoj se alazi mobilni telefon je 1.5 - 3 m. To praktično znači da će se često nešto naći na putu izmedju bazne stанице i mobilnog prijemnika. Ekstremni slučaj slabljenja imamo kada se na putu radio signala nadje neka prepreka koja potpuno onemogućava prolaz direktnog signala. Tada imamo efekat **blokiranja** signala (*shadowing*) (Sl. 4.1.a). Ako se radi o vrlo visokim frekvencijama čak i male prepreke poput zida ili drveća mogu blokirati signal.

Drugi efekat koji se pojavljuje je **refleksija** (*reflection*) signala (Sl. 4.1.b), koja nastupa u slučajevima kada je objekat veliki u odnosu na talasnu dužinu signala. Reflektovani signal je manje snage od originalnog, jer objekat apsorbuje deo snage. Refleksija može imati pozitivnu ulogu ukoliko ne postoji LOS, odn. optička vidljivost izmedju predajnika i prijemnika. To je zapravo standardni slučaj transmisije u urbanim i brdskim sredinama. Signal se može više puta reflektovati dok dodje do predajnika, a nakon svake refleksije sve je slabiji.

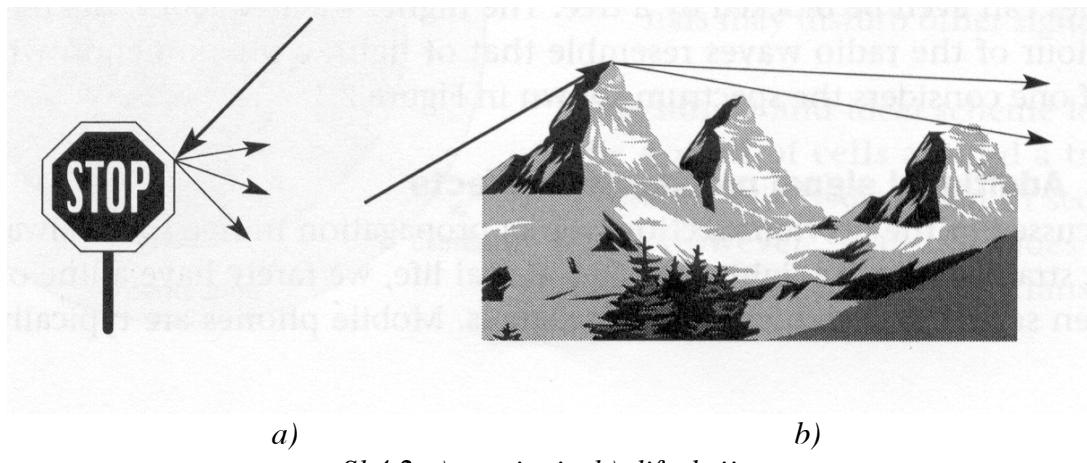


Sl.4.1 a) blokiranje b) refleksija

Dok blokiranje i refleksija nastupaju u slučju da su objekti mnogo veći od talasne dužine signala, sledeća dva efekta pojavljuju se u slučaju da je veličina prepreke reda veličine talasne dužine signala, ili manje.

Prvi efekat naziva se **rasejanje** (*scattering*), (Sl. 4.2.a). Ovo je pojava da se dolazeći signal nakon nailaska na prepreku rasejava na više slabijih odlazećih signala. Ako imamo u vidu da je tipična talasna dužina kod današnjih mobilnih sistema reda veličine nekoliko decimetara, mnogi objekti u okruženju mogu izazvati ovaj efekat.

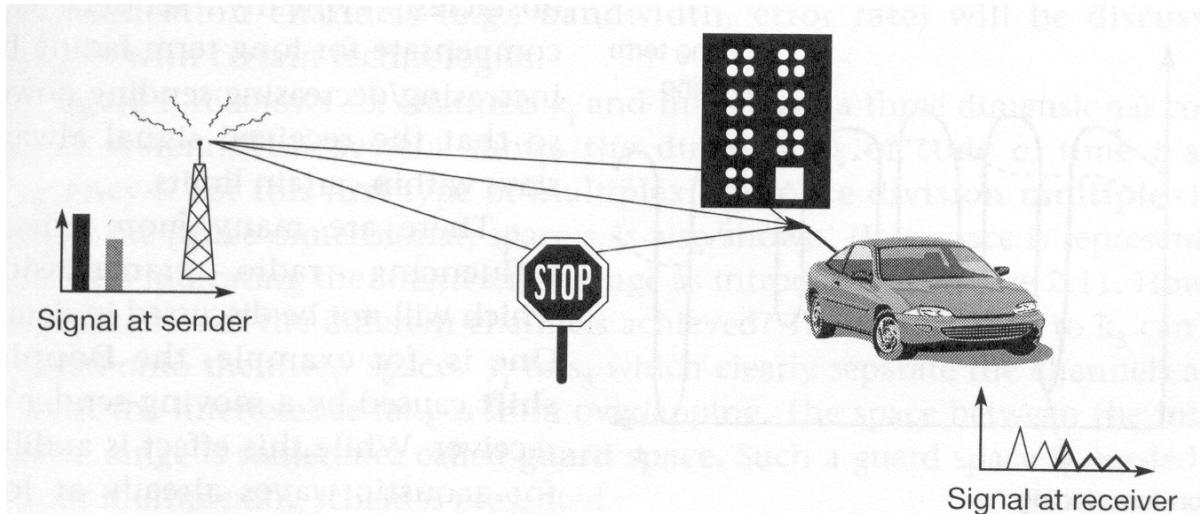
Drugi efekat je **difrakcija** (*diffraction*) talasa (Sl. 4.2.b). Ovaj efekat je sličan rasejanju. To je pojava da radio talasi nakon udara u neki objekat menjaju svoj pravac i nastavljaju dalje put pod nekim drugim uglom u odnosu na prvoibitni pravac.



Sl.4.2 a) rasejanje b) difrakcija

4.1.3 Prostiranje po višestrukom putu

Kod mobilnih komunikacija često zajedno sa direktnim signalom do predajnika stižu i signali nastali usled gore navedenih efekata. Ovo je poznato kao prostiranje po višestrukom putu ili **višestruka propagacija**. Na primer, sa bazne stanice do nekog automobila stiže direktni signal, signal reflektovan od neke zgrade i signal rasejan od nekog manjeg objekta (Sl. 4.3).



Sl.4.3 Višestruka propagacija

Ovaj primer je vrlo pojednostavljen; u praksi je moguće postojanje daleko više puteva. Takodje, u praksi vrlo često uopšte ne postoji LOS komponenta, već je signal na prijemu rezultat mnoštva signala nastalih putem refleksije, cik-cak puteva, rasejanja ili difrakcije. Zapravo, tipičan način prostiranja kod mobilnih komunikacija je prostiranje po višestrukom putu.

Zbog konačne brzine prostiranja EM talasa, signali stižu do prijemnika sa određenim vremenskim pomakom. Ovo se naziva *delay spread - širenje signala usled kašnjenja*. Tipična vrednost za ovu pojavu u gradovima je do 3 μs . GSM može tolerisati ovaj efekat do 16 μs , što odgovara razlici puta od oko 3 km.

Kako ovaj efekat utiče na signal na prijemu? Najpre, kratak impuls se širi ili se pojavljuje više slabijih impulsa. U realnoj situaciji kada imamo stotine različitih puteva, na prijemu ćemo imati mnogo slabijih impulsa. Pošto svaki put ima različito slabljenje, ovi impulsi stižeće sa različitim snagama. Neki od njih će čak biti toliko slabi da će se detektovati kao šum.

Kada se jedan za drugim emituju dva impulsa, na prijemu će zbog višestruke propagacije doći do medjusobnog preklapanja tih nizova slabijih impulsa (kao na Sl.). Ako svaki impuls predstavlja jedan simbol, to znači da će energija namenjena jednom simbolu delimično preći na drugi simbol. Ovaj efekat poznat je pod nazivom *intersymbol interference (ISI) - medjusimbolna interferencija*. Kada je širenje signala veće od 20% u odnosu na trajanje simbola, ISI može biti problem. Što je brzina prenosa veća, to je ovaj efekat više izražen i to limitira propusni opseg radio kanala sa višestrukom propagacijom. Za rešenje problema koristi se ekvilajzer za adaptaciju.

Dok ISI i širenje signala nastupaju već i u slučaju fiksnih radio veza, situacija je još gora u slučaju da se prijemnik, predajnik, ili oba kreću. Tada se karakteristike radio kanala menjaju u toku vremena. Snaga primljenog signala može značajno varirati sa vremenom. Ove brze promene primljene snage u vremenu nazivaju se *short term fading - brzi feding*. Feding nastaje jer se dešava da su direktni i zakašnjeni talasi sa različitim fazama, pa dolazi do potpunog, ili, mnogo češće delimičnog poništavanja signala. Dijagram promene nivoa signala nije striktno periodičan. Najdublji feding je oko 20 dB ispod srednjeg nivoa snage, a pikovi iznad srednjeg nivoa idu do oko 6 dB.

Prijemnik nastoji da se stalno adaptira promenama karakteristika radio kanala, recimo promenama parametara *equalizer-a*. Medutim, ukoliko se prijemnik ne može dovoljno brzo adaptirati ovim promenama, prijem se može drastično pogoršati.

Pojavljuje se i jedan dodatni efekat koji se naziva *long term fading - spori feding*. On može, na primer, biti prouzrokovani promenom udaljenosti od predajnika ili nekih udaljenijih prepreka. Postoje tehnike i za kompenzaciju ovog fedinga.

Još jedan efekat koji se javlja je tzv. **Doplerov efekat** (*Doppler shift*), koji nastaje usled pomeranja predajnika ili prijemnika.

4.2 Modelovanje prostiranja kod mobilnih komunikacija

Osnovna informacija koja se zahteva kod bilo kog komunikacionog sistema je slabljenje na putu između predajnika i prijemnika. Postoje različiti modeli za predikciju slabljenja koje se može očekivati između bazne stanice i neke tačke unutar zone pokrivenosti mobilnog sistema.

Modeli se po načinu pristupa fenomenu prostiranja mogu svrstati u tri grupe:

- **statistički (empirijski)** - ovi modeli razvijaju se na bazi velikog broja merenja. Eksperimentalno dobijeni podaci dovode se u korelaciju sa raznim parametrima kao što su frekvencija, baze podataka o terenu itd. Ovi modeli su jednostavniji ali zahtevaju veoma veliki broj merenja i nisu pogodni za primenu kod gusto naseljenih sredina gde ima mnogo prepreka i reflektujućih površina.
- **pseudo-deterministički** - kod njih se koristi teorijska analiza prostiranja, kod koje se zatim vrši korekcija vrednostima dobijenim iz statističkih modela. Prednost je što su bolje primenljiva na mala rastojanja i urbane sredine, od statističkih.
- **deterministički (fizičko - geometrijski)** - to su zapravo fizički modeli koji uzimaju u obzir realnu situaciju na terenu i koriste kompleksne analitičke ili numeričke metode.

U daljem tekstu biće predstavljeno nekoliko najčešće korišćenih modela pri planiranju mobilnih sistema.

4.2.1 Okumura model

Okumura model je statistički (empirijski) model koji je razvijen u Japanu i bazira se na podacima dobijenim nizom merenja na terenu. On se odnosi na nekoliko frekvencijskih opsega koji se koriste u mobilnim komunikacijama.

Metod omogućava predikciju snage prijemnog signala bez poznavanja detalja o realnoj putanji signala između bazne i mobilne stanice. Umesto toga kao ulazne veličine modela koriste se određene, lako merljive, opšte karakteristike terena. U vreme kada je model razvijen, kasnih 60-tih, bilo je uobičajeno razmatranje ograničenog broja pravaca (na svakih 45° ili 30°) oko radio-predajnika prilikom određivanja zone pokrivanja. Profili terena crtani su ručno na osnovu topografskih karata. Danas, sa širokom primenom baza podataka o terenu, ovaj metod se još uvek često koristi, pri čemu se radio profili dobijaju automatski, uz pomoć računara sa bilo kojim korakom ugaone separacije (1° , 5° , 10°).

Ulagani parametri modela mogu se svrstati u dve grupe:

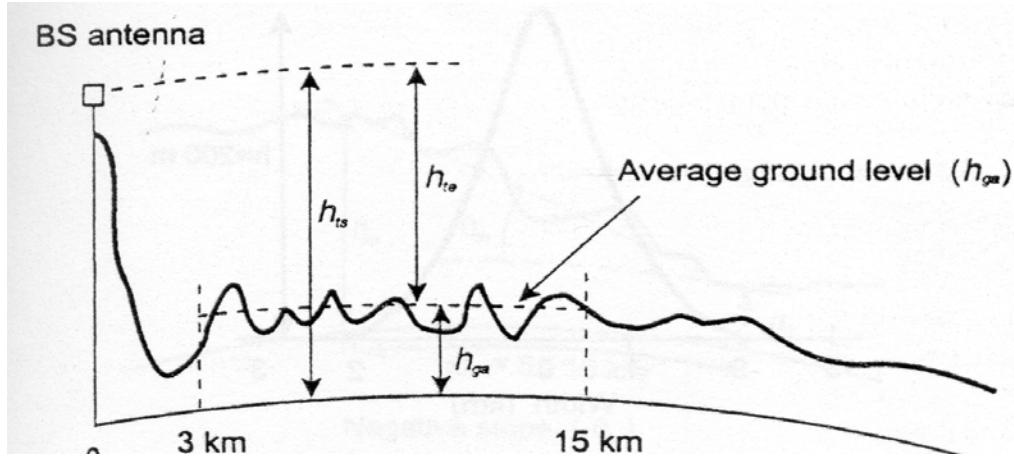
- a) osobine terena
- b) tip sredine

4.2.1.1 Osobine terena

1. **Efektivna visina bazne stanice** (*BS effective height - h_{te}*) definiše se kao

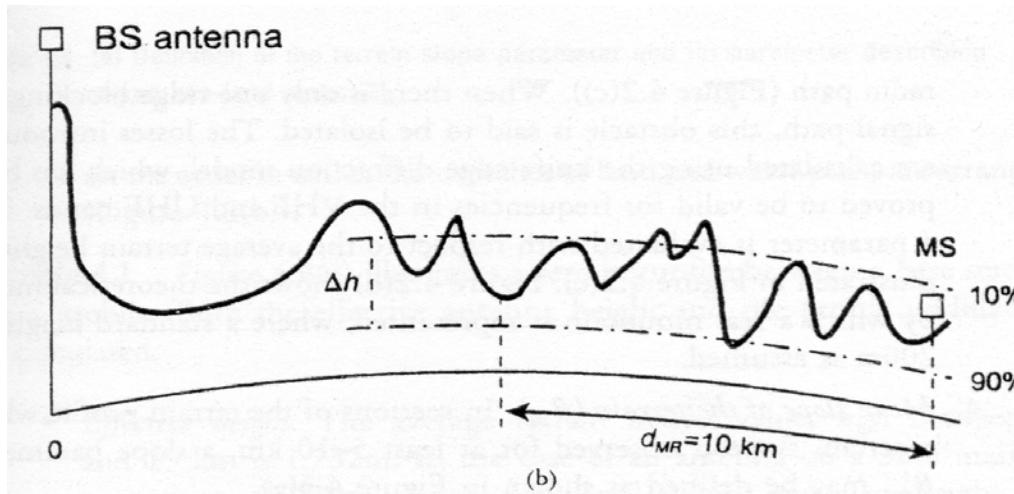
$$h_{te} = h_{ts} - h_{ga} \quad (\text{m}) \quad (4.1)$$

gde je h_{ts} visina antene iznad nivoa mora, a h_{ga} je prosečna visina terena za rastojanje od 3 do 15 km od predajnika (ili manje, ukoliko je dužina deonice manja od 15 km).



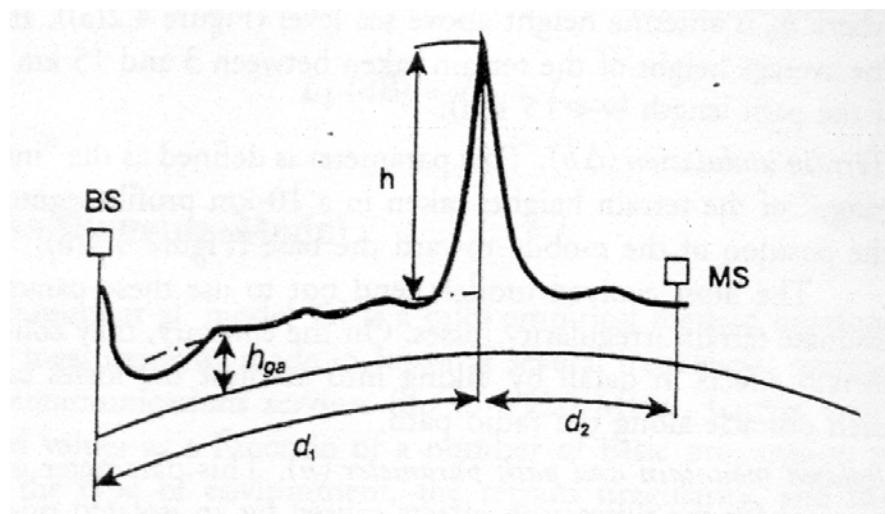
- **Primer:** Prosečna visina terena, h_{ga} , između 3 i 15 km je 1732 m. Kada se antena nalazi na stubu visine 30 m na lokaciji čija je nadmorska visina 1989 m, ukupna visina je $h_{ts} = 30 + 1989 = 2019$ m. Efektivna visina je tada $h_{te} = h_{ts} - h_{ga} = 287$ m.

2. **Talasnost terena** (*Terrain undulation - Δh*). Ovaj parametar izračunava se kao razlika izmedju vrednosti visine koju premašuje 10% tačaka na datom rastojanju i visine koju premašuje 90% tačaka na datom rastojanju. U ovom slučaju uzima se segment profila dužine 10 km od pozicije mobilne stanice prema baznoj stanici

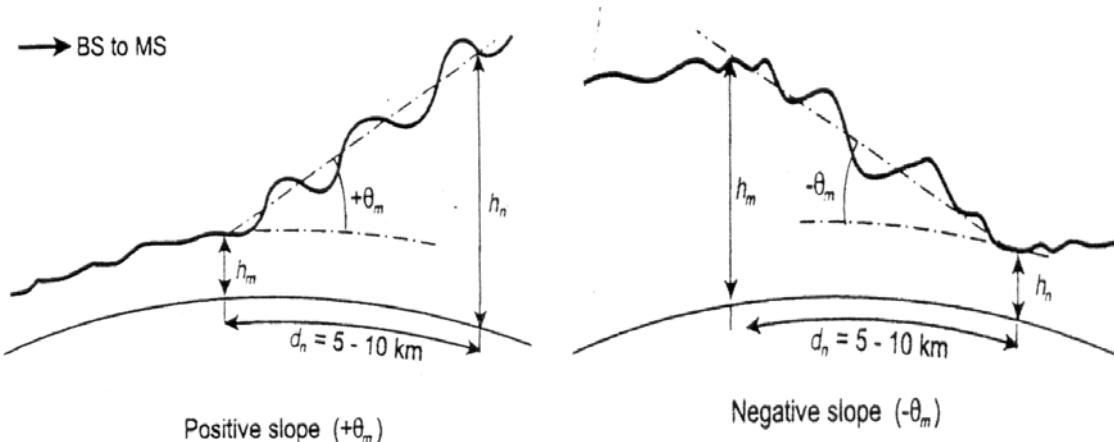


Primer: Na osnovu profila terena između bazne i mobilne stanice, proračunate su visine koje se prevazilaze u 10% i 90% slučajeva duž trase. Razlika, tj. vrednost talasnosti, u ovom slučaju je $\Delta h = 100$ m.

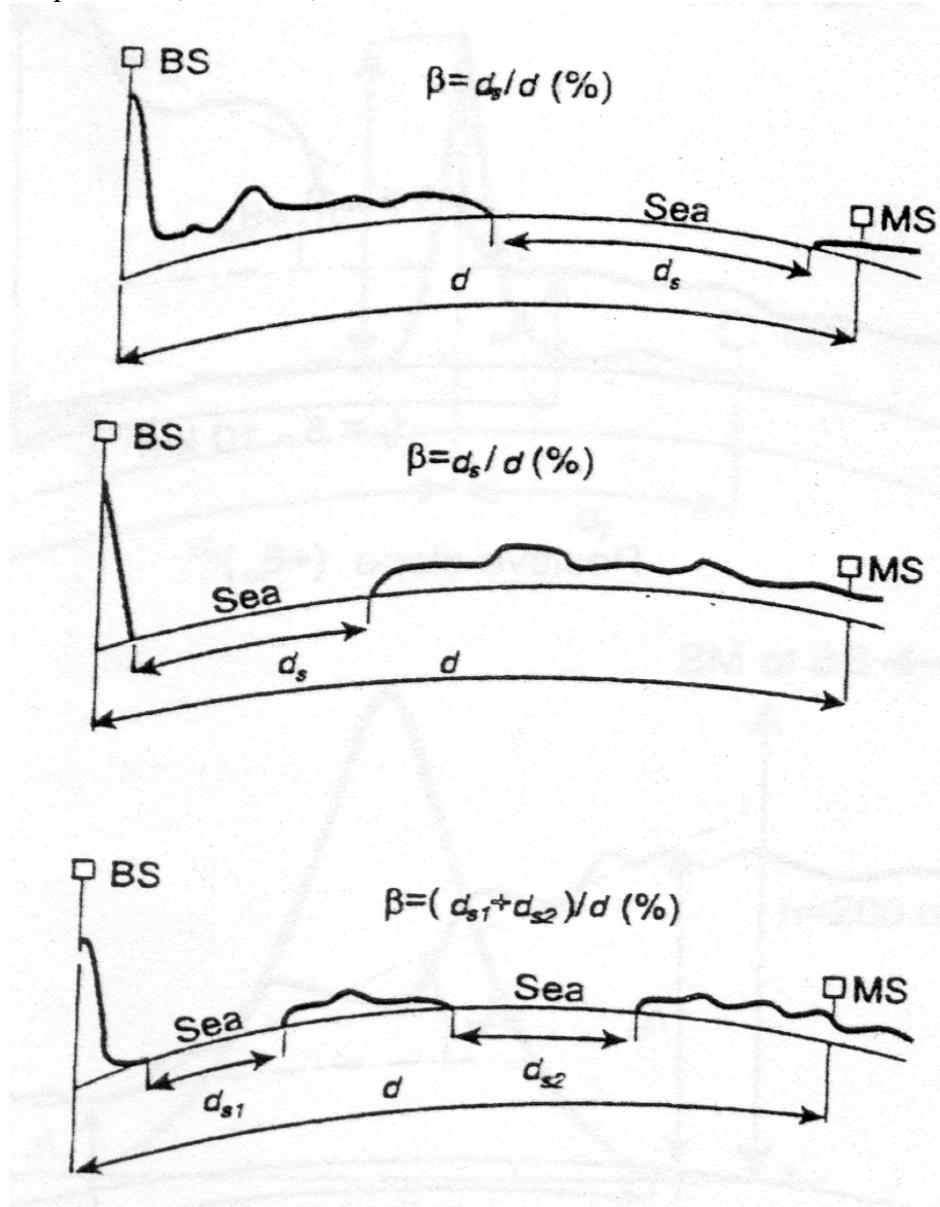
3. Parametar izolovane prepreke (*Isolated mountain and path parameter - h*) odnosi se na difrakcione efekte izazavane izolovanom preprekom (npr. grebenom) na deonici (Slika 4.2c). Kada postoji samo jedna prepreka koja blokira putanju signala, takva prepreka se smatra izolovanom. Uneti gubici proračunavaju se korišćenjem modela "difracije na oštrici noža" (*knife edge diffraction*), koji važi za frekvencije u VHF i UHF opsegu. h parametar se određuje u odnosu na prosečnu visinu terena, kao što je prikazano na slici.



4. Ugao prokrčenosti (*Mean slope of the terrain - θ_m*). Ovaj parametar definiše se kod segmenata profila terena kod kojih postoji nagib u dužini od najmanje 5 - 10 km (Slika 4.3a).



5. **Parametar vodene površine** (*Mixed sea-land parameter - β*) karakteriše efekte propagacije duž deonica koje se delimično nalaze iznad vodenih površina (jezera ili zaliva). Postoji nekoliko slučajeva u zavisnosti od redosleda delova deonice iznad tla i iznad vodenih površina (Slika 4.3b)



4.2.1.2 Tipovi okruženja

Kako bi se uzeli u obzir efekti senke/blokiranja u neposrednoj blizini mobilne stanice (smatra se da u okolini bazne stanice nema prepreka), moraju se razmotriti karakteristike terena u neposrednoj okolini mobilne stanice. Okumura model pravi razliku između tri tipa okruženja mobilne stanice:

1. **Otvoren prostor (Open area).** Dato okruženje može se smatrati otvorenim prostorom ako ne postoje prepreke na rastojanju većem od 300-400 m u pravcu bazne stanice i, generalno, u okolini mobilne stanice. Postoje odredjene krive sa korekcionim faktorom i to za

- *otvoren prostor*
 - *kvazi-otvoren prostor*
2. ***Sub-urbana oblast*** (*Suburban area*). Sub-urbane oblasti su one u okolini mobilne stanice, ali sa preprekama male gustine.
3. ***Urbana oblast*** (*Urban area*). Urbane oblasti su gradovi sa visokim zgradama i kućama sa više od dva sprata. Za urbane oblasti postoje dva korekciona faktora i to za:
- *velike gradove*
 - *gradove srednje veličine*

Dakle, model razmatra ukupno pet različitih tipova okruženja. Takođe, voda se može smatrati posebnim tipom okruženja (mada je njen uticaj uzet u obzir preko parametara neregularnosti terena kod mešovitih deonica kod kojih se radio talas prostire iznad kopna i vodenih površina).

Jedna bitna kategorija koja nije uključena u Okumurin model je "šumska oblast". Naime, neka istraživanja su pokazala da je slabljenje u šumskim oblastima veoma slično po intenzitetu slabljenju u urbanim oblastima.

Klasifikacija sredina je veoma subjektivan problem, i u velikom stepenu zavisi od tipa grada, drzave ili regiona. Dakle, urbana oblast u Sjedinjenim državama, na primer, je drugačija od urbane oblasti u Japanu ili Evropi. Da bi se prevazišao ovaj problem, model Okumure je dopunjeno naknadnim studijama u kojima je ustanovaljen način karakterizacije gustine zgrada.

4.2.4 Proračun srednje jačine polja na prijemu

Sledeća jednačina daje srednju vrednost jačine polja i to za sporu varijaciju signala u oblasti posmatranja od 1-1.5 km u radijsu (treba imati u vidu da rapodelu brzih varijacija treba dodati modelu):

$$\bar{E}[dB\mu V/m] = E_{fs} - A_{mu}(f, d) + H_{tu}(h_{te}, d) + H_{ru}(h_{ru}, f) + \sum \text{Correction Factors} \quad (4.2)$$

gde je E_{fs} jačina primljenog polja za dato EIRP (efektivna izotropna snaga zračenja) predajnika, pod uslovima prostiranja u slobodnom prostoru, i ona se može izračunati iz izraza

$$E_{fs}[dB\mu V/m] = 74.78 + 20 \log \text{EIRP [W]} - 20 \log d [\text{km}]$$

EIRP se definiše na sledeći način:

$$\text{EIRP [dBW]} = P_t[\text{dBW}] + G_t[\text{dB}] - L_t[\text{dB}],$$

gde je P_t izlazna snaga predajnika, L_t su gubici između predajnika i antene, i G_t je pojačanje antene u odnosu na referentnu izotropnu antenu.

Postoji još jedna slična veličina, ERP, koja se definiše u odnosu na dipol antenu,

$$\text{ERP [dBW]} = P_t[\text{dBW}] + G_{td}[\text{dB}] - L_t[\text{dB}],$$

gde je G_{td} pojačanje antene u odnosu na polutalasnu dipol antenu. Pri tome važi:

$$G_{ti}[\text{dB}] = G_{td}[\text{dB}] + 2.15.$$

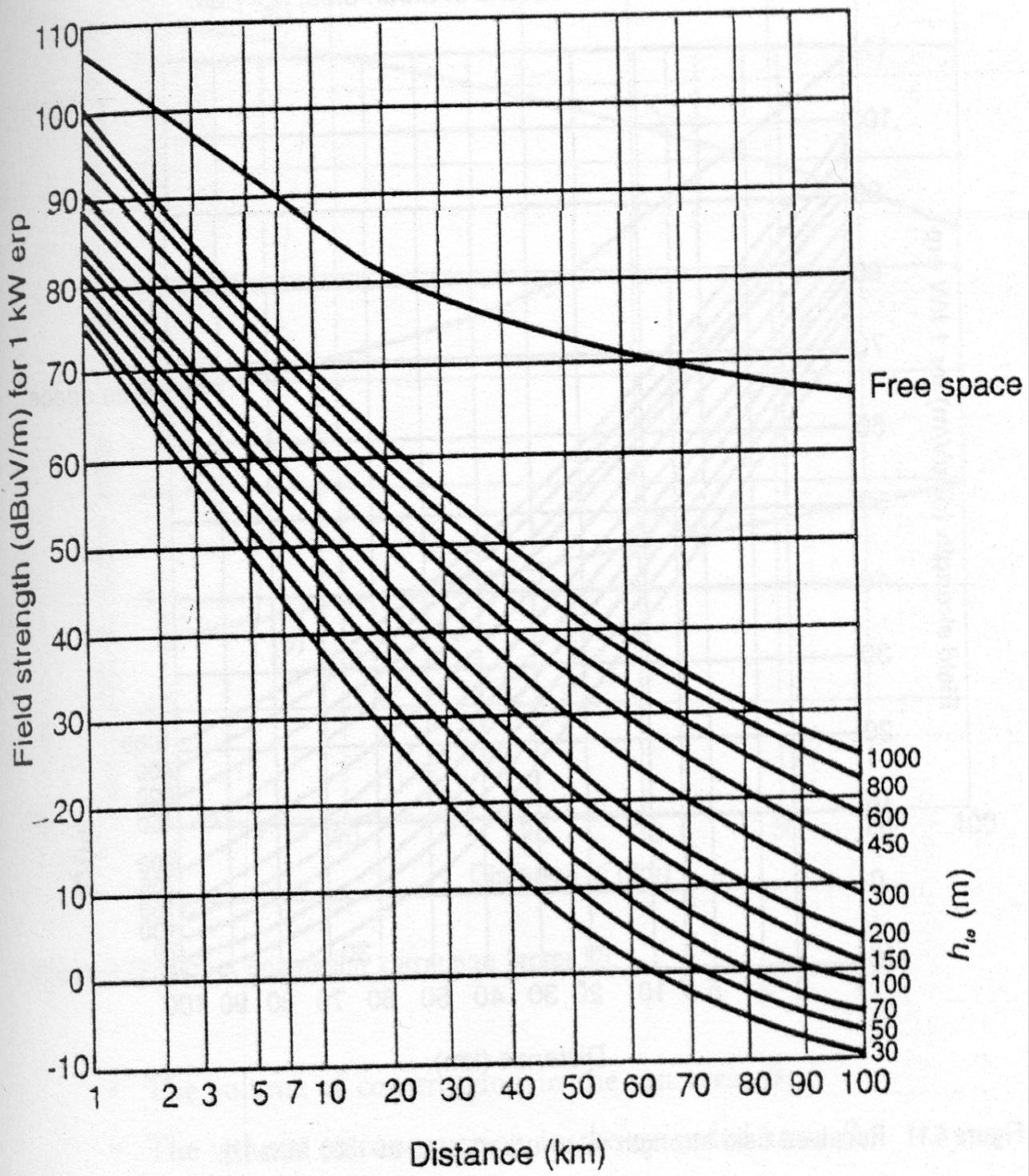
U izrazu (4.2) imamo još i sledeće veličine:

- $A_{mu}(f, d)$ (*dodatni gubici urbane oblasti*) je srednja vrednost slabljenja u slobodnom prostoru u urbanoj oblasti, podrazumevajući efektivnu visinu bazne stanice $h_{te}=200$ m a visinu mobilnih antena $h_{re}=3$ m.
- $H_u(h_{te}, d)$ je faktor dobitka usled visine bazne stanice.
- $H_{ru}(h_{re}, f)$ je faktor dobitka usled visine mobilne stanice.

Okumurin model obezbeđuje određenih broj krivih za tipične frekvencijske opsege u mobilnim komunikacijama (150, 450, 900, i 1500 MHz), koje daju predviđenu srednju jačinu polja za različite vrednosti BS efektivnih visina antena ($h_{te}=30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 450, 600, 800$ i 1000 m). Pri tome je pretpostavljeno da je mobilna stanica na visini 1.5 m i da je ERP = 1 kW. Jedan od ovih dijagrama, koji se odnosi na frkvencijski opseg 900 MHz, dat je na slici 4.4.

Krive odgovaraju ravnoj urbanoj sredini. Da bi se one mogle koristiti u drugim sredinama i pod drugim uslovima terenske neregularnosti, moraju se uzeti u obzir odgovarajući faktori korekcije (talasnost terena, usamljena uzvišenja, strmina terena, vodene površine, tip okruženja)

900 MHz, 50% of locations in urban area, $h_{re}=1.5\text{m}$



S1.4.4

4.3 Hata Model

Hata model je verzija Okumura modela razvijena za proračune pokrivanja uz pomoć kompjutera. Hata je izveo matematičke izraze fitovanjem (podešavanjem) vrednosti dobijenih na osnovu Okumurinih modela krivih. On takođe daje izraze za najvažnije korekcione faktore. Hata daje izraze za izračunavanje propagacionih gubitaka, L_b , (gubici između izotropnih antena), za urbane, suburbane, i ruralne sredine.

Gubici su dati sledećim izrazom:

$$L_b(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d)$$

gde je f u megahercima, h_t i h_m su u metrima, i d u kilometrima. Ovi gubici odgovaraju *ravnim urbanim oblastima*. Za MS antenu visine 1.5 m, $a(h_m) = 0$.

Član kojim se vrši korekcija ima oblik:

Za mali/srednji grad:

$$a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8)$$

Za veliki grad:

$$a(h_m) = 3.2 (\log(11.75 h_m))^2 - 4.79, \quad \text{za } f \geq 400 \text{ MHz}$$

Za suburbane oblasti:

$$L_{bs} = L_b - 2(\log(f/28))^2 - 5.4$$

Za ruralne oblasti:

$$L_{br} = L_b - 4.78 (\log(f))^2 + 18.33 \log(f) - 40.94$$

Ograničenja za ovaj model su sledeća:

$$\begin{array}{ll} 150 \leq f(\text{MHz}) \leq 1500 & 30 \leq h_t (\text{m}) \leq 200 \\ 1 \leq h_m \leq 10 & 1 \leq d(\text{km}) \leq 20 \end{array}$$

gde je h_t efektivna visina antene BS i h_m visina MS.

Hata model je primenjiv za frekvencijski opseg naveden gore. Zbog potrebe planiranja GSM 1800 sistema, razvijena je revizija Hata modela, COST 231-Hata, koja koristi slične metode onima koji su korišćeni u Hata/Okumura modelu.

Osnovni izraz COST 231-Hata modela je:

$$L_b = 46.33 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d) + C_m$$

Gde $a(h_m)$ ima isti izraz kao u originalnom modelu za srednje i mali gradove, a C_m je jednako 0 dB za gradove srednje veličine i suburbane centre sa prosečnom gustinom rastinja, i 3 dB za metropole. Opseg frekvencija na koje se model primenjuje je $1,500 < f(\text{MHz}) < 2,000$, a ostala ograničenja su ista.

4.2.5 Modifikovani JRC (UK's Joint Radio Committee of Power Industries) model [5]

Kod ovog modela primenjuje se potpuno drugačiji pristup u odnosu na Okumura-Hata model, kada se uzima u obzir neregularnost terena. Dok se kod prethodno opisanog modela koriste efektivna visina antene i oblik terena, kod JRC modela potrebno je pre svega da se identifikuju i uzmu u razmatranje individualne prepreke.

Kao osnova za proračun prvo se definiše *referentno slabljenje*. Referentno slabljenje je slabljenje u slobodnom prostoru koje iznosi

$$L_{fs} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d, \text{ gde je } f \text{ u [MHz], a } d \text{ u [km]},$$

ili, alternativno, slabljenje Zemljine površine (*plane Earth loss*) koje iznosi

$$L_{pe} = 120 - 20 \log(h_t h_r) + 40 \log d, \text{ gde su je } h_t \text{ i } h_r \text{ u [m], a } d \text{ u [km].}$$

$$(L_{pe} = 40 \log d - 20 \log(h_t h_r) \text{ ako su sve dužine u [m]}).$$

Da bi se izračunalo slabljenje usled neregularnosti terena, najpre se obezbede podaci o terenu na osnovu manuelnog čitanja topografske karte ili korišćenjem baze podataka o terenu. Zatim treba korigovati profil terena. Naime, visine prepreka se modifikuju da bi se uzela u obzir zakrivljenost zemlje i efekti refrakcije. Nakon toga se na osnovu profila odredi kom tipu pripada razmatrani radio put:

- a) LOS sa dovoljnim klirens faktorom
- b) LOS sa nedovoljnim klirens faktorom
- c) Bez optičke vidljivosti, 1 prepreka
- d) Bez optičke vidljivosti, 2 prepreke
- e) Bez optičke vidljivosti, 3 prepreke
- f) Bez optičke vidljivosti, više od 3 prepreke.

Zavisno od kategorije odvija se dalji proračun.

Za slučaj a) ukupno slabljenje jednako je slabljenju u slobodnom prostoru.

Za slučaj b) ukupno slabljenje jednako je sumi većeg od dva alternativna referentna slabljenja i dodatnog slabljenja usled difrakcije, koje se izračunava na osnovu visine klirens faktora.

Za slučaj c) kada postoji jedna prepreka, izračunava se za tu prepreku tzv. *normalizovani parametar opstrukcije*, na osnovu visine prepreke i još nekih parametara. Zatim se na osnovu ovog parametra grafičkim putem ili korišćenjem jednostavnih aproksimativnih formula izračunava slabljenje usled difrakcije koje se dodaje većem referentnom slabljenju.

Za slučaj d) slabljenje usled difrakcije treba da se izračuna uzimajući u obzir obe prepreke. U osnovi, koristi se sledeći princip: Link se posmatra kao da se sastoji iz dva sublinka - prvog izmedju predajnika i druge prepreke sa difrakcijom na prvoj prepreki, i drugog sublinka izmedju prve prepreke i prijemnika sa difrakcijom na drugoj prepreki. Maksimumu od referentnih slabljenja dodaju se zatim dva dodatna slabljenja usled difrakcije.

Slično je i za više prepreka. Praktično, dodaje se referentnom slabljenju onoliko slabljenja koliko ima prepreka.

Za urbane sredine koristi se modifikacija JRC modela koja uzima u obzir i gubitke na terenima sa dosta izgradjenih objekata. Dodaje se još jedno slabljenje koje prvenstveno zavisi od stepena urbanizovanosti prostora.

4.2.3 COST 231 Walfish-Ikegami model

Poznati model koji pre koristi empirijski nego deterministički pristup je **COST 231 Walfish-Ikegami** model. Kod njega je moguće uvesti neke parametre koji opisuju karakter urbane sredine, kao što su:

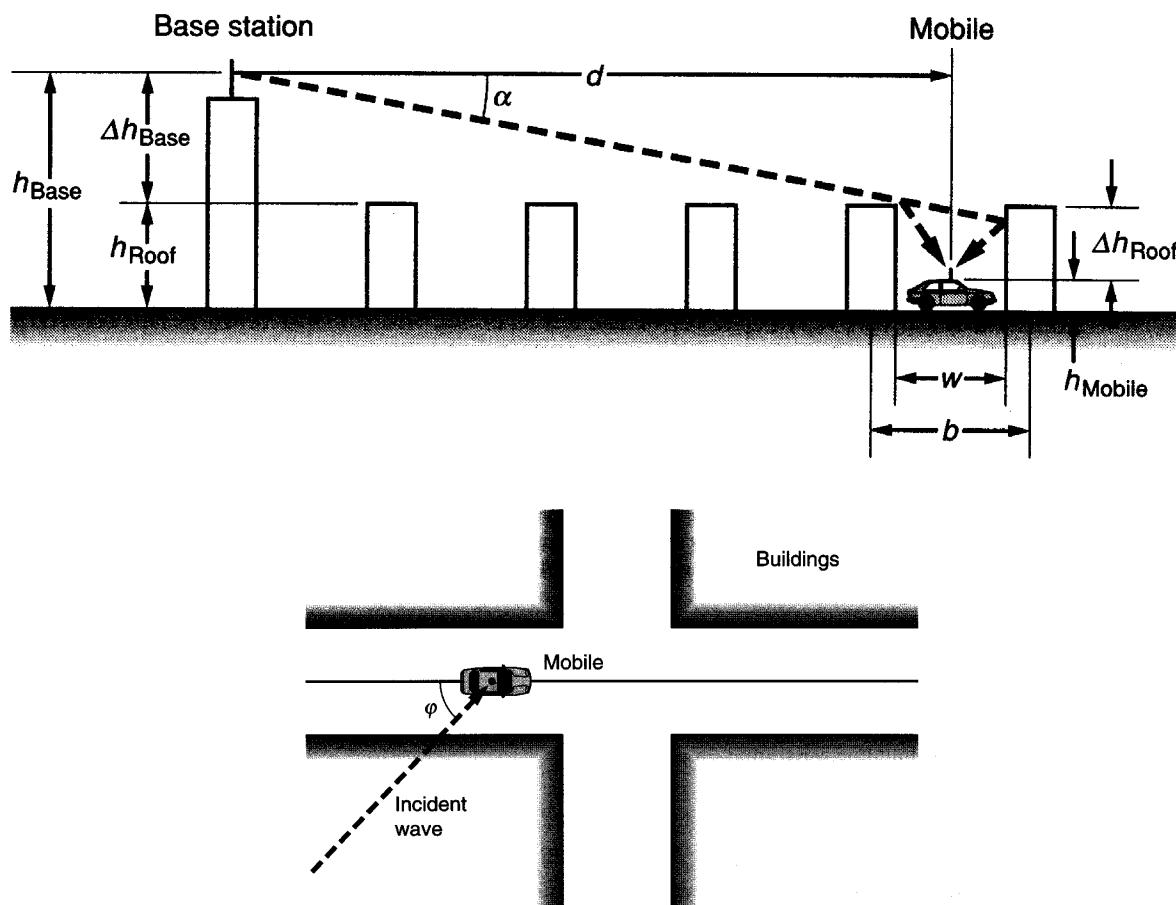
h_{Roof} - visina zgrade, u [m],

w - širina ulice, u [m],

b - rastojanje izmedju zgrada, u [m],

φ - orientacija ulice u odnosu na direktni radio put, u stepenima.

Ovi parametri definisani su na slikama.



Sl.4.5

Pristup je statistički, jer se unose samo karakteristične vrednosti, a ne i opisi svih zgrada i ulica pojedinačno. Ovaj model može se primeniti na velike, male i mikro ćelije celularne mreže. Model je, međutim, ograničen na ravan gradski teren. Takodje, ograničenje postoji u smislu da se ne može primeniti ako je antena bazne stanice niža od krovova zgrada, a da ga treba oprezno primenjivati ako je antena bazne stanice približno u visini vrhova krovova obližnjih zgrada. Za pouzdane rezultate u okviru malih ćelija, poželjno je da antena bazne stanice bude više od 4 m iznad maksimalne visine krovova zgrada na udaljenosti do 150 m.

Inače, raniji, slični modeli nisu bili primenljivi ukoliko postoji direktna linija optičke vidljivosti izmedju antene bazne stanice i antene mobilnog telefona duž neke ulice. COST 231 Walfish-Ikegami model uzima u obzir i ovaj slučaj.

Ovaj model je verifikovan za frekvencije u opsezima 900 i 1800 MHz, i za radio puteve dužina od 100 m do 3 km.

4.2.4 Prostiranje unutar zgrada [4]

Za prostiranje unutar zgrada može se koristiti sledeća formula:

$$L(dB) = L(v) + 20 \log d + n_f a_f + n_w a_w$$

gde je $L(v)$ slabljenje koje, zavisno od frekvencije, može biti reda veličine 20-40 dB, a_f i a_w su slabljenja podova i zidova, respektivno, a n_f i n_w broj podova i zidova duž deonice d . Prema jednom izvoru (podaci iz literature), slabljenje podova je bilo oko 14 dB, a zidova 3-9 dB. Rezultati međutim znatno variraju od zgrade do zgrade zavisno od tipa konstrukcije, nameštaja i opreme u prostorijama, broja ljudi u njima itd.

4.2.5 Modeli bazirani na *Ray-Tracing* metodama

Ray-Tracing tehnike postale su popularne kada je postalo moguće raditi sa velikim bazama podataka vezano za urbane sredine. Ove tehnike se obično koriste zajedno sa elektromagnetskim modelima koji omogućavaju izračunavanje intenziteta, faze i polarizacije različitih zraka na trasi. Razmatraju se posebno direktni, reflektovani i difraktovani zraci, koji se trasiraju prema određenim fizičkim zakonima.

Zahvaljujući ovim metodama, moguće je analizirati višestruku propagaciju u urbanim sredinama. Osim proračuna jačine polja duž zadate trase, mogu se izračunavati i neke druge veličine i parametri.

1 Celularni koncept

Celularni koncept, primjenjen u većini najznačajnijih bežičnih sistema, pruža mogućnost da se pri razumnoj ceni opslužuje oblast celih država, ili čak kontinenata, korišćenjem ograničenog dela RF spektra. Celularni koncept se bazira na dva osnovna principa:

- Višestruko iskorišćenje frekvencija (*frequency reuse*),
- Podela ćelija.

Celularni koncept omogućava adekvatno ispunjavanje sledećih zahteva:

1. Veliki broj korisnika u sistemu;
2. Efikasno iskorišćenje RF frekvencijskog spektra;
3. Veliko pokrivanje (do nivoa država ili kontinenata);
4. Prilagodljivost na različite gustine saobraćaja;
5. Pružanje servisa mobilnim i *hand-held* terminalima;
6. Pružanje telefonski servisa i specijalnih servisa;
7. Kvalitet servisa sličan kvalitetu servisa fiksne telefonske mreže;
8. Prihvatljiva cena.

1.1 Osnovni principi

Frekvencijski spektar koji može koristi jedan mobilni komunikacioni sistem je ograničen, pa je samim tim ograničen i broj korisnika koji može biti istovremeno opslužen. Jedan od načina povećanja broja korisnika koji se opslužuju istovremeno je podela servisne zone na određeni broj delova, tzv. ćelija. Raspoloživi frekvencijski kanali dele se na nekoliko skupova (najčešće 7 ili 12), i svakoj od ćelija se dodeljuje jedan skup frekvencija. Kada se koriste klasične tehnikama pristupa FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) i TDMA (*Time Division Multiple Access*) nije moguće koristiti isti skup frekvencija u susednim ili obližnjim ćelijama zbog postojanja neprihvatljive ko-kanalne interferencije.

Ponovno korišćenje iste frekvencije (*frequency reuse*) je moguće na rastojanjima na kojima je nivo interferencije toliki da nije štetan po sistemu. Stoga je potrebno ustanoviti grupe ćelija, tako da se u svakoj ćeliji iz grupe koristiti različit skup frekvencija. Ovakva grupa ćelija se naziva *klaster*. Znači, u cilju pokrivanja cele servisne zone ona se deli klastere koji koriste isti skup frekvencija.

Broj klastera se može odrediti računanjem odnosa površine cele zone pokrivanja i površine klastera:

$$Q = \frac{\text{Area}_{\text{tot}}}{\text{Area}_{\text{cluster}}}$$

Ovaj odnos se obično naziva *indeks ponovnog korišćenja frekvencija (reuse index)* u mreži.

Kako na raspolaganju ograničen broj kanala, ukoliko gustina saobraćaja raste, što je obično slučaj, potrebno je smanjiti površinu ćelije u cilju održanja intenziteta saobraćaja na istom nivou. U celularnom konceptu je dozvoljena promena veličine ćelije, tako da se u formiranim celularnim mrežama, u slučaju daljeg porasta gustine saobraćaja smanjuje površina ćelije korišćenjem tehnike podele ćelije.

Ukoliko je J veličina klastera (broj ćelija u klasteru), onda je potreban broj RF kanala u celularnoj mreži:

$$C = NJ$$

gde je N broj kanala koji se koriste na području date ćelije

Indeks ponovnog korišćenja frekvencije je:

$$Q = \frac{\text{Area}_{\text{tot}}}{J \cdot \text{Area}_{\text{cell}}}$$

Na osnovu poslednjeg izraza zaključuje se da bilo koja zona može biti opslužena korišćenjem N kanala, pošto ponovno korišćenje frekvencije može biti proizvoljno veliko. Q predstavlja broj simultanih poziva u svakom dostupnom RF kanalu.

Očigledno je da se smanjenjem veličine klastera smanjuje broj potrebnih frekvencija u mreži. Sa druge strane, treba voditi računa o činjenici da se smanjenjem veličine klastera smanjuje rastojanje između ćelija koje koriste isti skup frekvencija, pa se samim tim povećava mogućnost nastanka interferencije. Zbog toga veličina klastera zavisi od:

- Sobraćaja u ćeliji (stanje mreže) i
- Nivoa zaštite (*protection ratio*).

Nivo zaštite je zavisi od primenjene modulacije i tehnike višestrukog pristupa u celularnoj mreži. U modernim TDMA digitalnim telefonskim mrežama potrebno je ostvariti niži nivo zaštite od nego u starijim analognim mrežama, pa se u njima mogu koristiti manji klasteri.

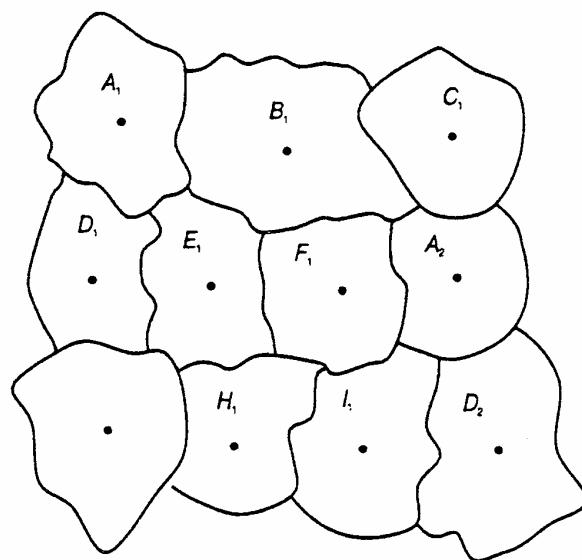
Ko-kanalna interferencija (uslovljena radom ko-kanalnih predajnika) zavisi od rastojanja na kome se frekvencije ponovo koriste (*reuse distance*) i relativnih pravaca interferencije. U cilju smanjenja veličine klastera je sektorisanje ćelija.

Primer jedne celularne mreže je dat na Slici 1a, gde su A, B, C, D, E i F skupovi dvofrekvencijskih *full-duplex* kanala koji se koriste u mreži.

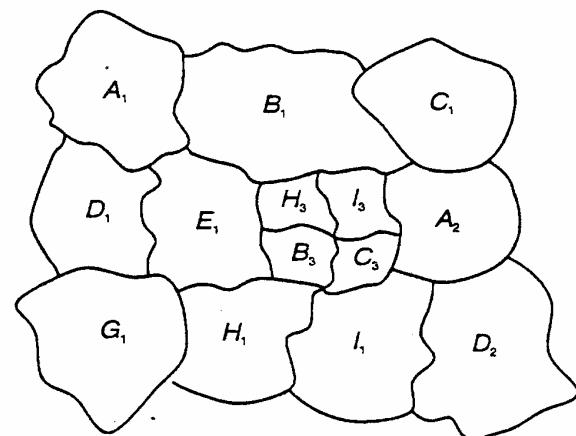
Broj dostupnih kanala se deli na J skupova kojii imaju $N = C / J$ kanala, i svaki od skupova se dodeljuje jednoj ćeliji. Pomoću Erlang-ove B formule, na osnovu broja kanala i zadate verovatnoće blokiranja (ili mere kvaliteta servisa, *GoS - Grade of Services*, u %), može se odrediti intenzitet saobraćaja koji može biti opslužen u jednoj ćeliji. Međutim, može se desiti da u nekim ćelijama ćeliji postoji zahtev za saobraćajem većeg intenziteta od onog koji u ćelijama može da se opsluži (obično slučaj u velikim gradovima, na autoputevima i sl.).

U takvim slučajevima pribegava se podele ćelija na manje delove u kojima se koristi N kanala. Osnovni koncept podele ćelija (*cell splitting*) prikazan je na Slici 1b. Oblast koja na Slici 1a odgovarala skupu frekvencija F1 je podeљena na četiri manje ćelije koje koriste skupove frekvencija H3, I3, B3, C3. Na ovaj način moguće je opslužiti zahtev za većim intenzitetom saobraćaja na datoj teritoriji korišćenjem dostupnih kanala (tj. bez uvećanja RF spektra koji se koristi). Da bi prilikom podele na manje ćelije interferencija ostala u prihvatljivim granicama, koriste se manje snage baznih i mobilnih stanica.

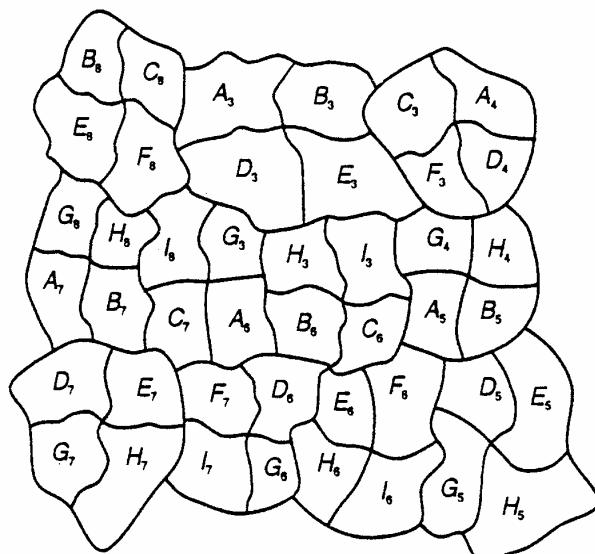
U formiranim sistemima postoji stalna tendencija smanjivanja veličine ćelija. U početnoj fazi jedne mobilne mreže radijus ćelije može biti i do 20 km. U velikim gradovima, radijus ćelije je manji od 3km. Na Slici 1c prikazana je evolucija mreže prikazane na Slikama 1a i 1b. Kasnije, ukoliko zahtevani intenzitet saobraćaja i dalje raste, koriste se mikroćelije (ulice) ili *indoor* pikoćelije (zgrade aerodroma ili železničkih stanica i sličen strukture).



(a)



(b)



(c)

Slika 1. Celularni koncept

1.2 Celularna geometrija

Projektanti mobilnih mreža moraju definisati pogodnu geometrijsku strukturu koja je pogodna za implemetaciju u celularni koncept. U prvoj fazi, koriste se omni-direkcionе antene koje definišu celije kružnog oblika. Pogodna geometrijska aproksimacija kruga (oblik omni-ćelije) se može postići korišćenjem šestougla.

Da bi se definisala pravila za pridruživanje skupova frekvencija različitim ćelijama definišu se dva parametra, celi brojevi i i j ($i \geq j$), koji se nazivaju *parametri pomeranja*. Na Slici 2a, skup frekvencija A se ponavlja šest puta oko originalne ćelije. Pravilo za pridruživanje kanala je:

- Pomeriti se za i ćelija duž svakog od šest lanaca šestougaonika oko originalne ćelije.
- Zatim se pomeriti j ćelija duž lanaca ćelija za 60° stepeni u smeru suprotnom od smera kazaljke na časovniku u odnosu na pravac početnog lanca.

U cilju daljeg pridruživanja skupova frekvencija ćelijama, bira se drugi skup frekvencija i odgovarajuće B ćelije se određuju na predhodno opisani način. Na ovaj način, isti raspored ćelija se ponavlja šest puta oko originalne ćelije A. Na Slici 2a je prikazan primer dodele frekvencija za slučaj parametara ponavljanja $i = 3$ i $j = 2$. Kada se završi ceo proces, klasteri se ponavljaju u okviru servisne zone. Kao što je već rečeno, broj ćelija u klasteru predstavlja jedan od osnovnih parametara značajnih za projektovanje mobilne radio mreže obzirom da on određuje broj raspoloživih kanala u svakoj ćeliji, i samim tim, i sposobnost opsluživanja saobraćaja u jednoj ćeliji.

Broj ćelija u klasteru J zavisi od parametara pomeranja na sledeći način:

$$J = i^2 + ij + j^2$$

Na Slici 3 prikazani su klasteri koji se sastoje od 3, 4 i 7 ćelija.

Odnos rastojanja D između dve ćelije koje koriste isti skup frekvencija (ko-kanalne ćelije) i radijusa ćelije R , D/R predstavlja normalizovano rastojanje ponovnog korišćenja frekvencija (*cochannel reuse distance*). Ovaj odnos zavisi od broja ćelija u klasteru:

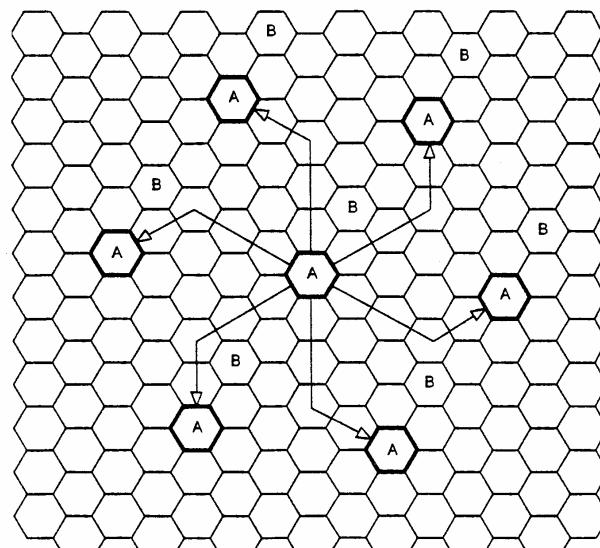
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3J}$$

U realnim situacijama, određivanje broja ćelija u klasteru se vrši na osnovu ko-kanalne interferencije. Interferencija se opisuje pomoću odnosa nosilac/interferencija, c/i . Ako broj ćelija u klasteru raste, povećava se odnos D/R , a samim tim dolazi do povećanja c/i (tj. efekat interferencije opada). Sa druge strane smanjenjem broja ćelija u klasteru, efekti interferencije postaju izraženiji.

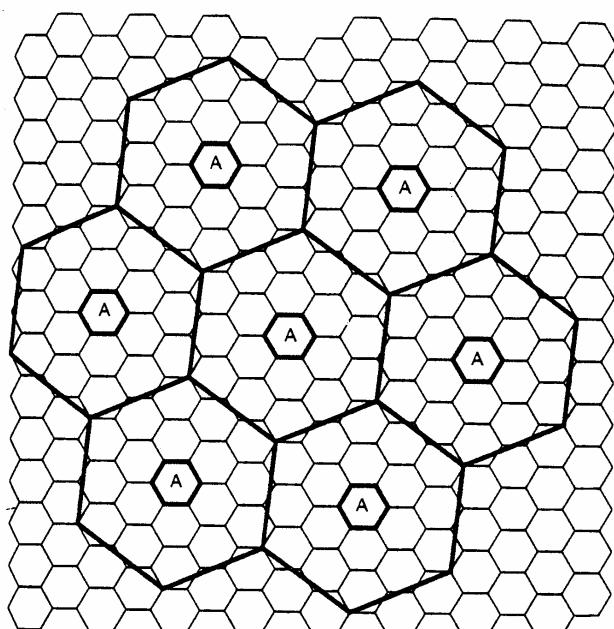
Bazna stanica koja definiše ćeliju može da koristi omni-direkcionu ili direkaktivne (sektor) antene, Slika 3. Takođe, na Slici 3 prikazane su nominalne pozicije ćelija na heksagonalnoj ćelijskoj rešetki. U nekim slučajevima moguće je koristiti nehomogeni oblik ćelija, posebno kada je teren veoma nepravilan pa nije moguće zadržati pravilan oblik ćelija.

Tipično, u prvoj fazi u definisanju ćelije koriste se omni-direkcionе antene. Ovo je posledica činenice da se osnovni cilj postizanja pokrivenosti cele servisne zone. U ovom slučaju bazne stanice se nalaze u centru ćelija.

Posle rada u toku određenog perioda, direkativne (usmerene) antene su pogodne za poboljšanje odnosa signal/interferencija i samim tim za povećanje rastojanja između ko-kanalnih ćelija što vodi povećanju kapaciteta mreže. U ovakvim formiranim cellularnim mrežama, direkativnost antene definiše sektore ćelije od 120° , Slika 4. Ponekad se mogu koristiti i ćelije sa šest sektora (60°), Slika 5.

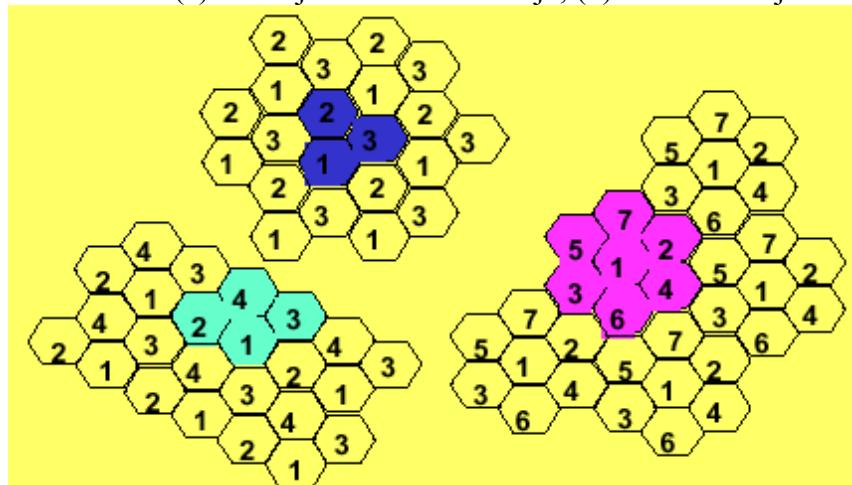


(a)

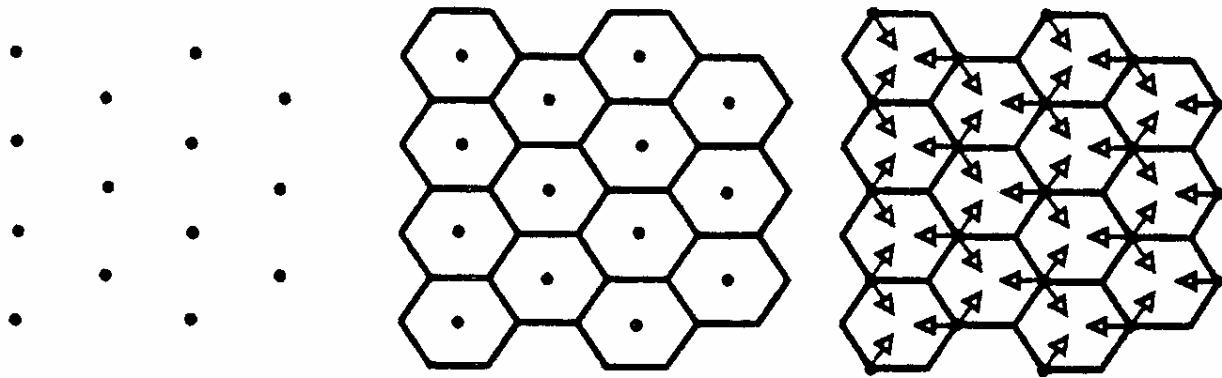


(b)

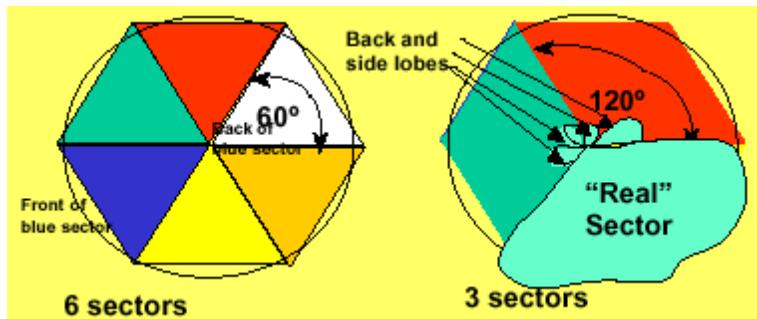
Slika 2. (a) Pozicije ko-kanalnih ćelija; (b) Klasteri ćelija



Slika 3. Klasteri sa 3, 4 i 7 ćelija



Slika 4. Pozicije baznih stanica u celularnoj mreži



Slika 5. Sektorisanje ćelija

Generalno, u realnim sistemima nije moguće postaviti baznu stanicu u na njenu tačnu nominalnu poziciju (centar ćelije) u ćelijskoj rešetki. Stoga, postoji određena tolerancija odstupanja položaja bazne stanice (npr. u AMPS sistemu dozvoljeno je odstupanje do četvrtine radiusa ćelije ($R/4$), uzimajući pri tome u obzir da odnos c/i mora da bude zadovoljavajući).

Maksimalni radius ćelije je, u osnovi, ograničen maksimalnom snagom mobilne stanice. Prilikom podele ćelije na manje, nove bazne stanice se postavljaju na polovini rastojanja između postojećih. Stoga su nove ćelije četiri puta manje od originalnih. Ovo dovodi do povećanja sposobnosti opsluživanja saobraćaja u ćeliji. Sa druge strane, u manjim ćelijama može doći do problema ako se bazna stanica pomeri za maksimalno dozvoljeno odstupanje. Takođe, ukoliko su ćelije manje broj handover-a se povećava što može da dovede do kolapsa u kontrolnom procesu mobilnih komutacionih centara

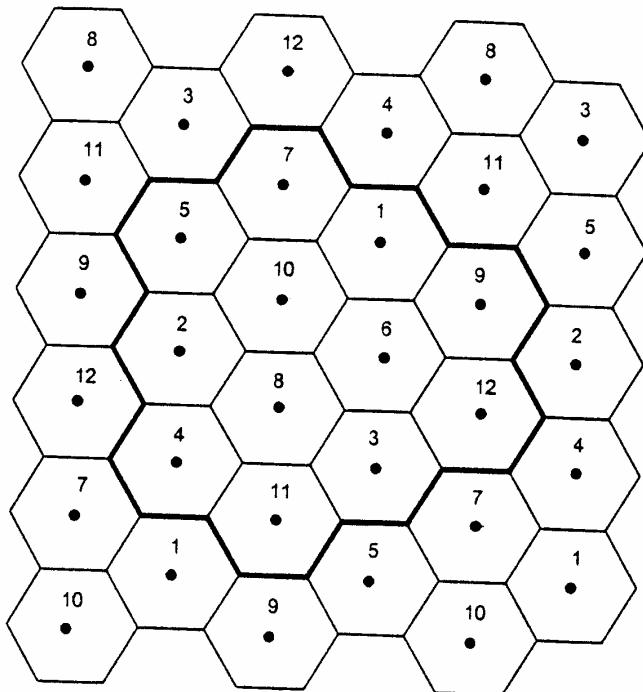
1.3 Dodela kanala i redukcija interferencije

Kada se odredi broj ćelija u klasteru J , skup raspoloživih kanala se deli na J podskupova. Ako je datoj ćeliji dodeljen n -ti skup, to znači da se u njoj koriste kanali $n, n+J, n+2J, \dots$. Na primer, ako je $J = 7$, skupu 4 pripadaju kanali: 4, 11, 18, ... Raspodela skupova kanala mora biti takva da se izbegne interferencija. Na Slici 6a prikazana je dodela kanala ćelijama za klaster veličine 12 ćelija.

Pri prelasku sa 12-to ćelijskih na 7-mo ćeljske klastere nemoguće je izbegnuti korišćenje susednih kanala u susednim ćelijama. Međutim, to se može prevazići korišćenjem direktivnih osobina sektor antena (od 120°) i deljenjem svakog skup od sedam skupova kanala na tri podskupa. Na primer, originalni skup kanala 4 koji se sastoji od kanala 4, 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53, 60, ... deli se na tri podskupa:

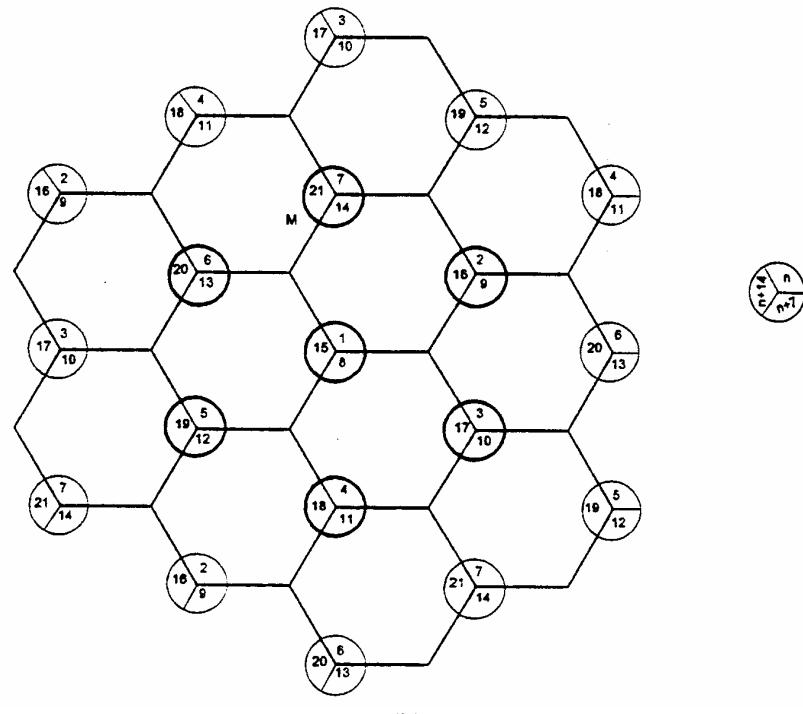
- Podskup 4a koji sadrži kanale: 4, 25, 46, ...
- Podskup 4b koji sadrži kanale: 11, 32, 53, ...
- Podskup 4 koji sadrži kanale: 18, 39, 60, ...

Na Slici 6b prikazano je kako se korišćenjem direktivnih sektor antena može izbegići interferencija između susednih kanala. Za skup 6 koji opslužuje tačku M interferencija susedenog kanala iz skupa 7 je dovoljno oslabljena jer je pojačanje direktivne antene sa zadnje strane (*backward*) malo u odnosu na pojačanje sa prednje strane.



(a)

Slika 6. Dodela kanala (a) Klaster se sastoji od 12 omni-ćelija



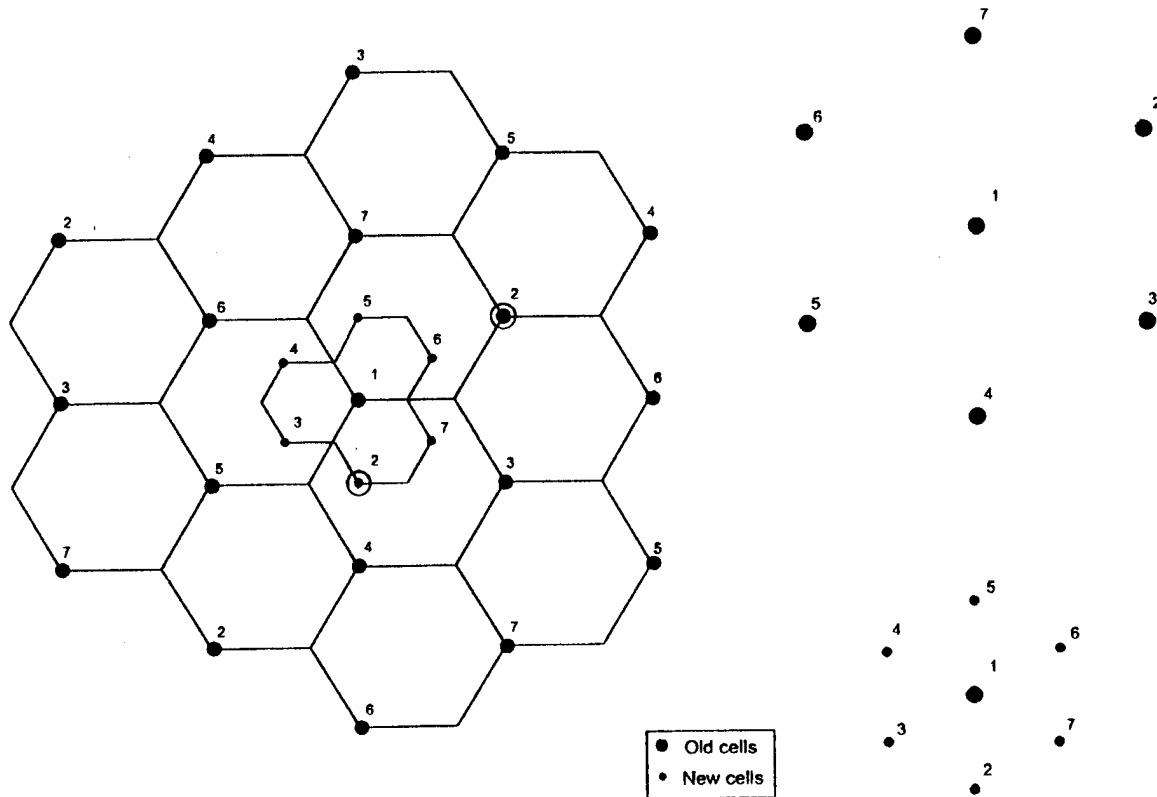
(b)

Slika 6. Dodela kanala (b) Klaster se sastoji od 12 sektorisanih ćelija (120°)

1.3.1 Podela ćelija

Problem neuniformne raspodele saobraćaja se može rešiti podelom ćelija. Kada se vrši podela ćelija rastojanje između ćelija se deli na pola, pa se površina ćelije smanjuje četiri puta, a samim tim sposobnost opsluživanja saobraćaja se povećava četiri puta. Nominalna pozicija novih ćelija nalazi se na polovini rastojanja između originalnih ćelija. U nekim slučajevima moguće je odstupanje ćelije od nominalnog položaja u okvitu dozvoljene tolerancije. Nove i originalne ćelije formiraju dve heksagonalne rešetke.

Na Slici 7 prikazana je mreža formirana od velikih ćelija, kojima je dodato šest novih ćelija. Prilikom određivanja skupa kanala koji je dodeljen novoj baznoj stanici vodilo se da nova bazna stanica bude na sredini rastojanja između dve ko-kanalne ćelije (na Slici 14, skup kanala 2). Patern klastera koji se ponavlja i kod velikih i kod malih ćelija je sačuvan u sukcesivnim fazama podele, ali uz rotaciju od 120° .

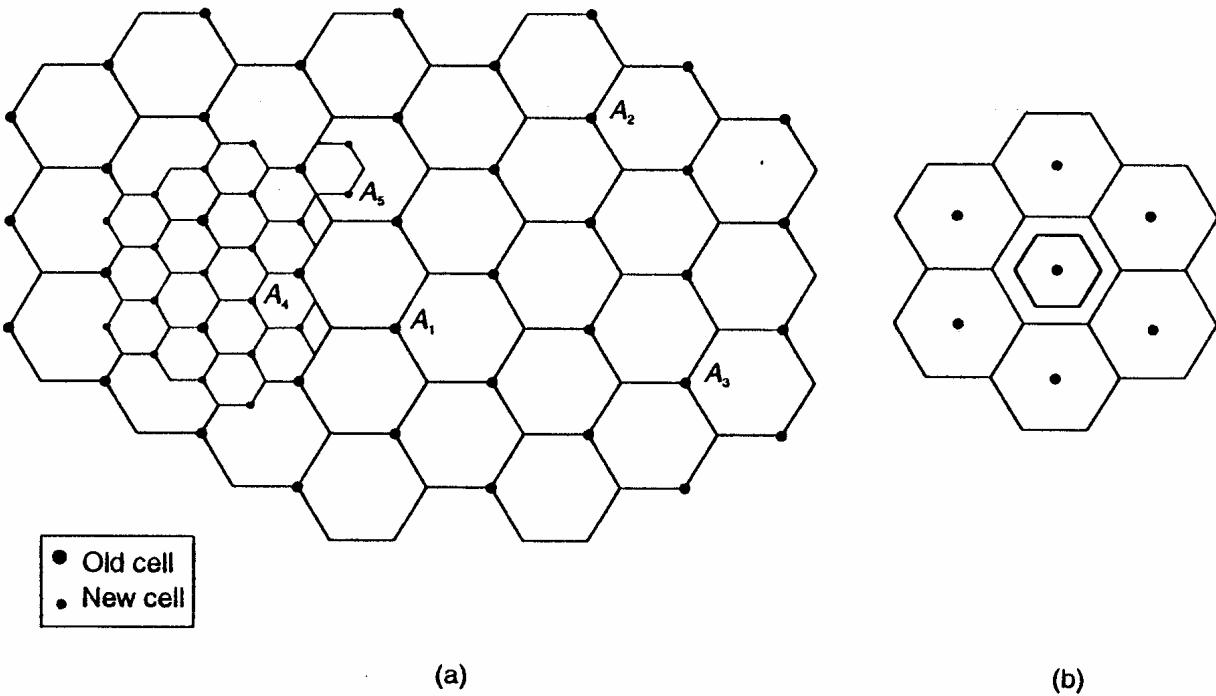


Slika 7. Podela ćelija

1.3.2 Koncept preklapanja ćelija

Tokom svog razvoja mreža se adaptira na lokalizovane zahteve saobraćaja, pa u mreži postoje i male i velike ćelije. Na Slici 8 prikazan je primer jedne takve mreže.

Da bi bio osiguran adekvatni kvalitet prenosa na nivou cele servisne zone, potrebno je obezbediti odgovarajući odnos c/i , što je ekvivalentno očuvanju zahtevanog odnosa rastojanja između ko-kanalnih ćelija i radijusa ćelije, D/R . Na Slici 15 prikazana je mreža sa dve veličine ćelija i klasterima veličine sedam ćelija. Ako velika ćelija A1 priprada sedmo-ćelijskom klasteru, onda je $D/R = 4.6$. Ovo važi i za ćelije A2 i A3, kao i za manje ćelije A4 i A5.



Slika 8. Koegzistencija celija razlicitih velicina

Bazna stanica A1 je korektno postavljena u odnosu na ko-kanalne celije A4 i A5 tj. zahtevana vrednost za D/R je zadovoljena pošto je radius $R(\text{small})$ manji za male celije. Kanali u celiji A1 ne uslovjavaju štetnu interferenciju na pozive koji se opslužuju u okviru celija A4 i A5, pošto nihove mobilne stanice mogu biti u najgorem slučaju na rastojanju $R(\text{small})$ od baznih stanica celija A4 i A5.

Međutim, problem se može javiti za pozive koji se opslužuju u okviru celije A1. Mobilne stanice u okviru celije A1 nalaze se na rastojanju $R(\text{large})$ (u najgorem slučaju) od bazne stanice celije A1. Samim tim, celije A4 i A5 neće ispunjavati zahtev $D/R = 4.6$ u odnosu na celiju A1. Ovaj uslov bi bio ispunjen samo bazna stanica celije A1 opslužuje mobline stanice u okviru oblasti oko bazne stanice radijusa $R(\text{small})$, što bi uslovilo nastajanje nepokrivenih oblasti u servisnoj zoni.

Moguće rešenje ovog problema predstavljaju mreže sa preklapanjem celija. U ovim mrežama koegzistiraju celije razlicitih velicina, odnosno, postoji čelijska rešetka većih celija, a na njoj postoji nekompletan (fragmentirana) čelijska rešetka kod koje je radius celije dvostruko manji. Patern većih celija se ne uklanja sve dok se u potpunosti ne formira patern malih celija.

Pri praktičnoj realizaciji koncepta celija sa preklapanjem na nekom području, potrebno je svaki podskup kanala podeliti na dve grupe, jedan za velike i drugi za male celije.

U svakom sektoru stare bazne stanice (velika celija) za obezbeđivanje pokrivenosti velike celije i dalje se koriste neki od ranije dodeljenih kanala. Ostatak kanala ranije dodeljenih tom sektoru ograničava se na područje pokrivanja manje celije. Odnos broja kanala u manjoj i većoj celije zavisi od kanala koji se koriste u susednim malim celijama.

Na primer, na Slici 8a kanali koji koriste bazne stanice A4 i A5 ne mogu se koristiti u okviru celije A1, sem u slučaju obezbeđivanja pokrivenosti malih celija. Ova ograničenja su implementirana u upravljački softver mobilnog komutacionog centra.

2 GSM sistem

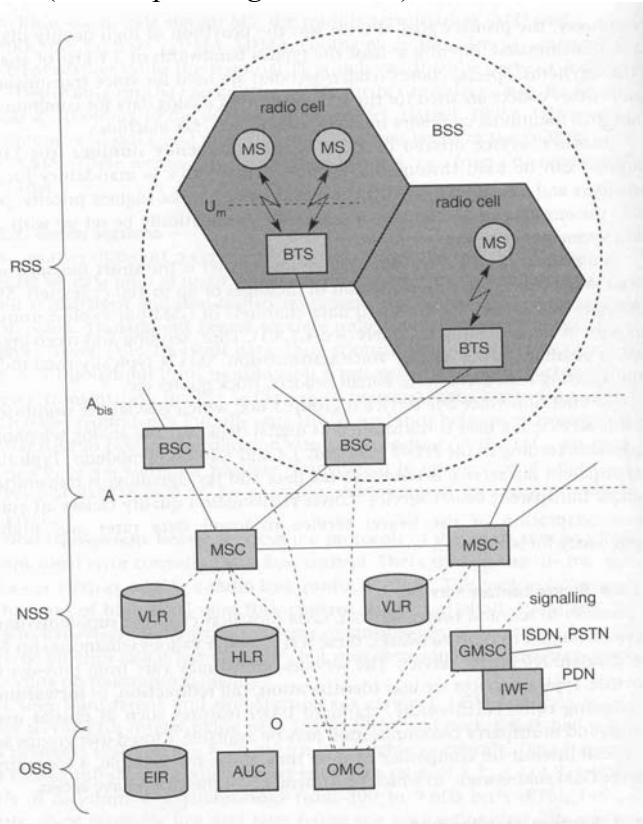
Kada se kaže "GSM mreža", misli se na originalni GSM poznat kao GSM900, pošto je 900 MHz originalni frekvencijski opseg. Međutim, isto tako rasprostranjeni su i sistemi koji rade na 1800 MHz i na 1900 MHz, poznati kao GSM1800 (ili DCS1800) i GSM1900 (ili PCS1900) respektivno. Poslednja dva sistema se razlikuju od prvog prvenstveno po korišćenju drugih frekvencijskih opsega, ali i po tome što je kod njih zastupljen koncept mikrocelijske strukture (manja zona pokrivanja za svaku celiju). Time je omogućeno ponovno korišćenje frekvencija (*frequency reuse*) na manjim rastojanjima, odnosno povećanje gustine pretplatnika. Nedostatak im je veće slabljenje u slobodnom prostoru usled višeg frekvencijskog opsega.

Ime GSM izvorno potiče od imena grupe koja je 1982. godine osnovana (*Group Speciale Mobile*) od strane CEPT-a, u cilju definisanja pan-evropskog standarda za bežični komunikacioni protokol za mobilne telefone, koji bi omogućio korisnicima da koriste istu opremu u različitim mrežama, koje do tад nisu bile međusobno kompatibilne. Definisanje specifikacija sistema trajalo je do 1990., a 1992. u Finskoj počeo je sa radom prvi GSM operater. Evropski GSM 1800 standard definisan je 1991., a Severno-američki standard GSM 1900 1995. godine. Danas je GSM sistem prihvачen od strane sve velikog broja zemalja na svim kontinentima, tako da je promenio pan-evropski karakter. Posledica toga je pravac prema globalnom sistemu pa je prihvачen termin Globalni sistemi za mobilne komunikacije (*Global System for Mobile*), a GSM je postao službeno ime sistema.

2.1 Funkcionalna arhitektura GSM sistema

GSM sistem se sastoji od tri podsistema:

- Radio podsistem (RSS-Radio Subsystem),
- Mrežni i komutacioni podsistem (NSS- Network and Switching Subsystem) i
- Operacioni podsistem (OSS- Operating Subsystem).



Funkcionalna arhitektura GSM sistema

2.1.1 Radio podsistem

Radio podsistem čine:

- Mobilna stanica (MS- *Mobile Station*) i
- Podsistem bazne stanice (BSS - *Base Station Subsystem*).

Mobilna stanica (MS)

Mobilna stanica može se odnositi na ručni set, portabl terminal ili mobilni uređaj tj. opremu preplatnika (ME-*Mobile Equipment*) kojoj se pridružuje jedinstvena hardverska identifikacija (IMEI - *International Mobile Equipment Identity*). MS sadrži preplatničku SIM karticu (*Subscriber Identity Module*) koja ima jedinstveni identifikacioni broj IMSI (*International Subscriber Identity Module*). IMEI i IMSI su nezavisni i usled toga dozvoljavaju slobodu korisniku (vlasniku SIM kartice) da koristi različite mobilne terminale. SIM kartica pored IMSI broja sadrži informaciju o tipu preplate, dopunskim servisima, ograničenjima servisa, ključ za autorizaciju Ki, lični identifikacioni broj (PIN - *Personal Identifikation Number*), ključ za deblokiranje PIN-a (PUK - *PIN Unblocking Key*). Prilikom tri pogrešna unosa PIN broja MS se blokira (zaključava) pa se PUK koristi za deblokiranje. Takođe, u SIM karticu smešta se i ključ kriptovanja Kc, privremeni identifikacioni broj preplatnika (TMSI - *Temporary Mobile Subscriber Identity*) i identifikator oblasti u kojoj se nalazi MS (LAI - *Local Area Identification*).

Podsistem bazne stanice (BSS)

Podsistem bazna stanice čine:

- kontroler bazne stanice (BSC-*Base Station Controller*) i
- bazna primopredajna stanica (BTS-*Base Transceiver Station*).

Bazna primopredajna stanica (BTS) se sastoji od većeg broja primopredajnika koji omogućuju vezu sa mobilnim stanicama. Savki od primopredajnika opslužuje određenu teritoriju (celu ćeliju u služaju omni-direkcionog pokrivanja ili delove više ćelija u slučaju sektorskog pokrivanja). U velikim urbanim sredinama je potreban potencijalno veliki broj BTS stanica, koje bi osiguravale radio pokrivanje područja formirajući geografske ćelije. Kontroler bazne stanice (BSC) upravlja resursima više BTS stanica. Primarna funkcija BSC je uspostavljanje i održavanje poziva. On takođe vrši i funkcije dodelje kanala, kontrole kvaliteta veze, kontrole snage, signalizacije, kontrole opštег saobraćaja, odluke o frekvencijskom *hopping-u* (FH) i *handover-* (HO) itd. Kontroler bazne stanice upravo predstavlja vezu izmedju mobilne stanice i mobilnog komutacionog centra. Mobilna stanica šalje kontroleru bazne stanice izveštaj o primljenim signalima svakih 480 ms i sa tom informacijom BSC odlužuje o narednim funkcijama.

2.1.2 Mrežni podsistem (NSS)

Mrežni podsistem je "srce" GSM sistema. NSS povezuje mobilnu mrežu sa javnom telefonskom mrežom (PSTN), izvršava *handover* između različitih BSS-a, vrši funkcije lociranja mobilnog korisnika i podržava tarifiranje i *roaming* između različitih operatera u različitim zemljama. NSS sistem se sastoji od:

- Mobilnog komutacionog centra (MSC-*Mobile switching center*),
- HLR registra (*Home Location Register*) i
- VLR registra (*Visitor Location Register*).

Mobilni komutacioni centar - MSC

Između ostalih funkcija, MSC vrši funkcije slične klasičnim fiksnim telefonskim centralama, kao što je rutiranje poziva. On takođe služi kao interfejs između mobilne i fiksne mreže i kao most između BSC-a pri *handover-u*. MSC je glavni element pri lociranju mobilnih korisnika (upravljanju mobilnosti). On takođe, omogućava pristup u/iz fiksne mreže. Na fiksne mreže kao što su PSTN i ISDN MSC je povezan preko odgovarajućeg *Gateway MSC-a* (GMSC). U cilju vršenja upravljanja mobilnošću i rutiranja poziva, MSC koristi informacije iz dve baze podataka, HLR i VLR.

HLR registar

HLR predstavlja bazu podataka koja se koristi za upravljanje mobilnim preplatnicima. Jedan HLR može opsluživati nekoliko MSC-a. HLR sadrži IMSI, ISDN broj mobilne stanice (MSISDN - *Mobile Station ISDN*), ključ za autorizaciju Ki, informaciju o tipu pretplate i korisničkim servisima. HLR takođe sadrži i adresu tekuću VLR registra koji je odgovara MSC-u u čijoj servisnoj zoni se nalazi MS. Prilikom promene oblasti tj. VLR registra sadržaj HLR registra se ažurira, što je uslov za lokaciju korisnika u okviru GSM mreže i rutiranje poziva. Korisničke informacije koje se odnose na pojedinačnog korisnika upisuju se u samo jedan HLR registar.

VLR registar

VLR registar je dinamična baza podataka koja se pridružuje svakom od MSC-a. U njemu se smeštaju informacije vezane za MS koje se trenutno nalaze u geografskoj oblasti koju kontroliše MSC (*LA-Local Area*). Kad nova MS uđe u LA koja je pridružena datom MSC-u, u VLR registar se upisuju relevantne informacije vezane za tu MS, kao što su: IMSI, TMSI, MSISDN i MSRN (*Mobile Subscriber Roaming Number*). Na osnovu ovih informacija, moguće je vršiti pejdžing mobilne stanice i izvršiti rutiranje poziva ka stvarnoj poziciji MS u mreži. Čim mobilna stanica napusti datu oblast i registruje se kod bazne stanice koja pripada drugoj oblasti, podaci koji se odnose na nju se brišu iz datog VLR-a.

2.1.3 Operacioni podsistem (OSS)

Operacioni podsistem vrši neophodne funkcije za funkcionisanje i održavanje mreže. OSS čine tri funkcionalne celine:

- Autorizacioni centar (AuC - *Authentification Center*),
- Registar identiteta uređaja (EIR - *Equipment Identity Register*) i
- Centar za upravljanje i održavanje (OMC - *Operation and Maintenance Center*)

Autorizacioni centar (AuC)

AuC je zaštićena baza podataka, koja se pridružuje svakom HLR-u, i koja sadrži kopije tajnih ključeva za autorizaciju svih postojećih SIM kartica, koji se koriste za proveru autentičnosti i kodovanje radio kanala. On takođe sadrži algoritme za autorizaciju i kriptovanje. AuC omogućava dodatnu sigurnost protiv obmana.

Registar identiteta uređaja (EIR)

EIR sadrži bazu podataka sa listom sve validne mobilne opreme u mreži, gde je svaka mobilna stanica identifikovana svojim IMEI brojem. EIR sadrži tri liste podataka:

- Bela lista: lista svih MS sa dobrim IMEI brojem,
- Crna lista: lista neispravnih i ukradenih handset-ove,
- Siva lista: za handset-ove/IMEI-ove koji su neizvesni.

OMC centar

OMC je upravljački sistem koji nadgleda GSM-ove funkcionalne blokove. OMC asistira mrežnom operatoru u održavanju zadovoljavajućeg rada GSM mreže. Hardverska rezerva i mehanizmi za

inteligentnu detekciju greške pomažu zaštiti donjeg mrežnog vremena. OMC je zadužen za kontrolu i održavanje MSC, BSC i BTS-a.

2.2 Lociranje mobilnih korisnika i princip uspostavljanja poziva

U cilju lociranja mobilnih korisnika potrebno je nekoliko brojeva:

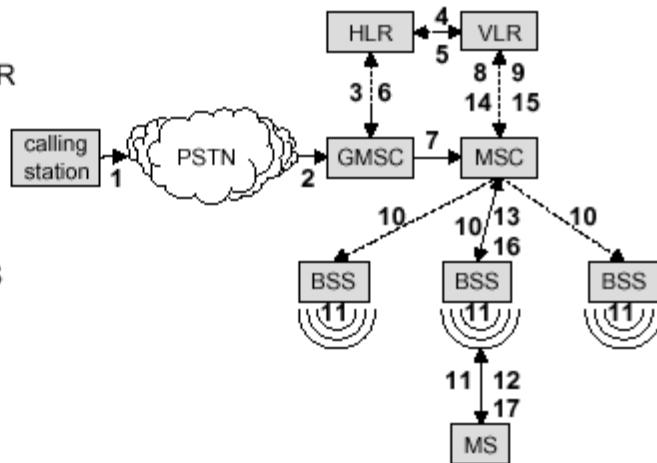
- **Internacionalni ISDN broj mobilnog korisnika (MSISDN - Mobile Station ISDN).**
MSISDN je jedini brojkoji je važan za samog korisnika GSM-a. To je u stvari broj koji se koristi za njegovo pozivanje (npr. +381 63 123456) i on je nezavisan os mobilnog uređaja, a pridružen je SIM kartici. Ovaj broj se sastoji od koda zemlje (CC - Country Code) (npr. 49 za Nemačku; za neke zemlje potreban je i prefiks 00 ili 009), nacionalnog odredišnog koda (NDC - National Destination Code), tj. koda provajdera i pretplatničkog broja (SN - Subscriber Number).
- **Internacionalni identifikacioni broj korisnika (IMSI - International Mobile Subscriber Identity).**
GSM koristi IMSI za jedinstvenu identifikaciju korisnika. Sastoji se od mobilnog koda zemlje (MCC - Mobile Country Code) (npr. 240 za švedsku, 208 za Francusku), koda mobilne mreže (MNC - Mobile Network Code) i identifikacionog broja mobilnog korisnika (MSIN - Mobile Subscriber Identification Number).
- **Priveremni identifikacioni broj korisnika (TMSI - Temporary Mobile Subscriber Identity).**
TMSI broj se dodeljuje korisniku u cilju skrivanja njegovog tačnog identiteta pri prenosu korz *air interface*. TMSI broj se dodeljuje u VLR-u i validan je samo na teritoriji datog VLR-a dok je mobilni korisnik u okviru nje. Dodatno VLR, periodično menja TMSI mobilnom korisniku.
- **Roaming broj mobilne stanice (MSRN - Mobile Station Roaming Number).**
MSRN je, takođe, vrsta privremene adrese mobilne stanice koja prikriva njegovu adresu i lokaciju. VLR, na zahtev MSC-a, generiše datu adersu koja se zatim smešta u HLR. MSRN se sastoji od koda zemlje u kojoj se MS trenutno nalazi (VCC - Visitor Country Code) i nacionalnog odredišnog koda teritorije gde se nalazi MS, identifikacije MSC-a i korisničkog broja. Stoga MSRN pomaže HLR-u da nađe pretplatnika koji je pozvan.

2.2.1 Pozivanje mobilnog korisnika (MTC - Mobile Terminating Call)

Mobilni korisnik se poziva biranjem njegovog MSISDN broja (1). Kada PSTN ustanovi (na osnovu nacionalnog odredišnog koda) da se radi o mobilnom korisniku, ona prosleđuje zahtev za uspostavljanjem poziva Gateway-u date GSM mreže (2). GMSC identificuje HLR pretplatnika (koji je kodiran u broju telefona) i signalizira mu zahtev za uspostavljanje poziva (3). HLR proverava da li dati broj postoji i da li je korisniku dozvoljeno korišćenje datog servisa i zahteva dodeljivanje MSRN-a od VLR-a na čijoj teritoriji se nalazi MS (4). Posle dodeljivanja MSRN-a (5), HLR određuje koji MSC je nadležan za datu MS i prosleđuje ovu informaciju GMSC-u (6), koji datom MSC-u prosleđuje zahtev za uspostavljanjem poziva (7). Nadalje, MSC preuzima kontrolu poziva. Najpre, zahteva od VLR-a informacije o tekućem statusu MS (8). Ako je MS dostupna, MSC inicira pejdžing mobilne stanice na teritoriji svih celija u njegovoj nadležnosti (10), pošto proces traženja tačne celije može biti veoma zahtevan vremenski. Pri tome se koristi IMSI ili dodeljeni TMSI broja BTS stanice svih baznih podistema emituju pejdžing signal mobilnoj stanici (11). Ako mobilna stanica odgovori (12 i 13), VLR izvršava siguronosne provere (autorizacija i šifrovanje). Dalje, VLR signalizira MSC-u da uspostavi vezu sa MS (15-17).

Mobile Terminated Call

- 1: calling a GSM subscriber
- 2: forwarding call to GMSC
- 3: signal call setup to HLR
- 4, 5: request MSRN from VLR
- 6: forward responsible MSC to GMSC
- 7: forward call to current MSC
- 8, 9: get current status of MS
- 10, 11: paging of MS
- 12, 13: MS answers
- 14, 15: security checks
- 16, 17: set up connection

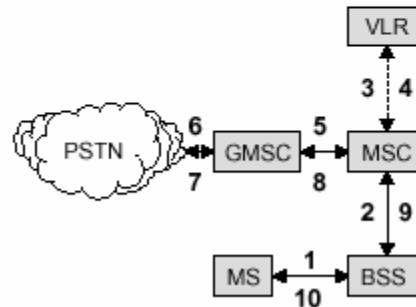


2.2.2 Poziv od strane mobilnog korisnika (MOC - Mobile Originating Call)

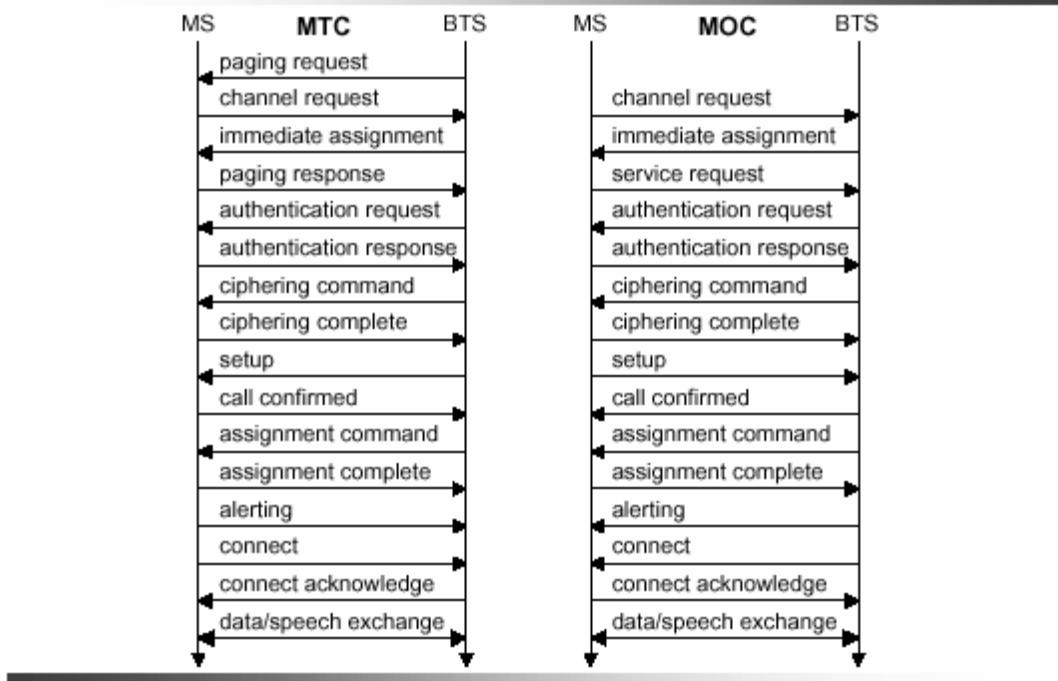
Kada mobilna stanica poziva (zahteva neki servis), ona svojom baznoj stanici šalje zahtev za uspostavljanje poziva (1). BSS prosleđuje ovaj zahtev MSC-u (2). MSC proverava da li je korisniku dozvoljeno korišćenje zahtevanog servisa (3 i 4) i proverava dostupnost resursa preko GSM mreže i ukviru PSTN. Ako su resursi dostupni, MSC uspostavlja vezu između MS i fiksne mreže.

Mobile Originated Call

- 1, 2: connection request
- 3, 4: security check
- 5-8: check resources (free circuit)
- 9-10: set up call



MTC/MOC



Tok poruka u slučaju MTC i MOC

2.3 Handover

Jedna od osnovnih osobina celularnih mreža je njihova sposobnost da održavaju kontinuitet poziva kada se mobilna stanica prebacuje na drugi radio kanal i da to prebacivanje mobilni korisnik ne primeti. Procedura koja ovo omogućuje naziva se *handover* (ili *handoff* kako se češće naziva u Severnoj Americi).

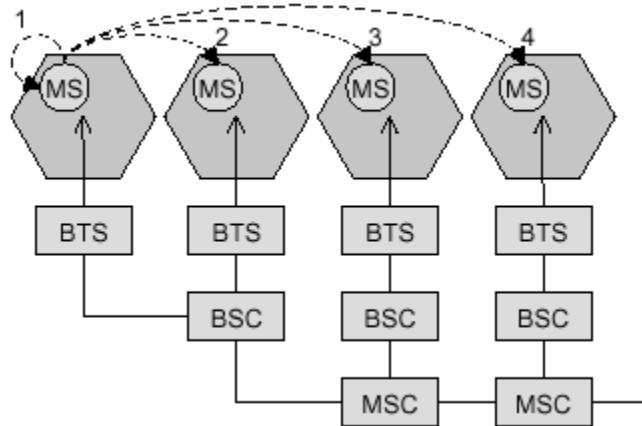
Standardim je definisano oko 40 razloga za *handover*, a dva glavna su:

- Prelazak mobilne stanice iz jedne u drugu ćeliju ili prelazak iz sektora u sektor ćelije. Udaljavanjem MS od BTS signal koji ona prima kontinualno postaje slabiji, sve dok ne padne ispod minimalnih zahteva potrebnih za komunikaciju. Takođe, greška (*Error Rate*) pri komunikaciji može porasti i usled interferencije ili usled prevelikog rastojanja od BTS (max. 35 km) - svi ovi efekti mogu umanjiti kvalitet radio linka i onemogućiti radio transmisiju u bliskoj budućnosti.
- MSC ili BSC mogu odlučiti da je saobraćaj u jednoj ćeliji prejak, pa prebacuju neke MS u ćelije koje su manje opterećene (naravno ako je to moguće), pa stoga *handover* može poslužiti za balansiranje intenziteta saobraćaja.

Postoje četri različita tipa *handover-a* u GSM-u:

1. *Intra-ćelijski handover*: Promena noseće frekvencije (kanala, tj. vremenskih slotova) u okviru iste ćelije kada se ustanovi da je su usled uskopojasne interferencije prevelike smetnje na datoј frekvenciji.
2. *Inter-ćelijski, intra-BSC handover*: Ovo je najčešći tip *handover-a*, dešava se kad MS prelazi iz ćelije u ćeliju, pri čemu su ćelije pod kontrolom istog BSC-a. U ovom slučaju, BSC izvršava *handover*, dodeljivanjem novog radio kanala u novoj ćeliji i oslobađanjem starog kanala.

3. *Inter-BSC, intra-MS handover:* Dešava se kad MS prelazi u ćeliju koja je pod kontrolom različitog BSC-a od tekuće ćelije, pri čemu su oba BSC-a pod kontrolom MSC-a. Ovde MSC kontroliše proces *handover-a*.
4. *Inter- MSC handover:* Dešava se pri prelasku u ćeliju koja je pod kontrolom drugog MSC-a. u ovom slučaju oba MSC-a učestvuju u procesu kontrole *handover-a*.



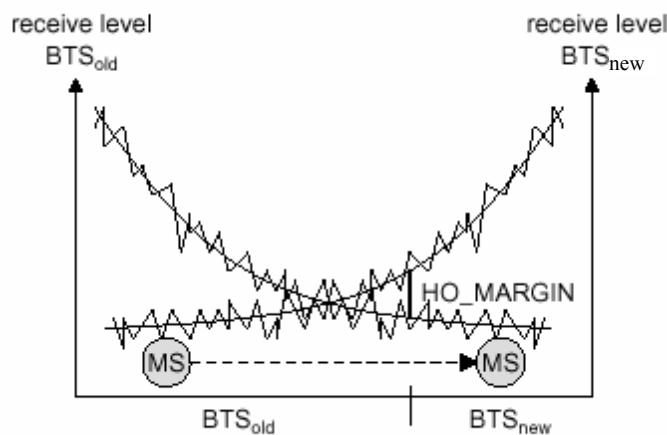
Prva dva tipa *handover-a* se odvijaju pod kontrolom BSC-a na čijoj teritoriji se odigrava *handover*. MSC-a pri tome ne igra nikakvu ulogu već se samo obaveštava o kompletiranju *handover-a*.

Handover-i mogu biti inicirani ili BSC-om ili MSC-om. U toku praznih vremenskih slotova, mobilni aparat analizira difuziju kontrolnog kanala od 16 susednih ćelija, i formira listu od 6 najboljih kandidata za mogući *handover*, baziranu na primljenoj snazi signala. Ova informacija se prosledjuje BSC-u i MSC-u, najmanje jedamput u sekundi, i koristi se za algoritam *handover-a*.

Odluka o tome kada inicirati *handover* je funkcija sledećih parametara:

- kvalitet prijema
- nivo prijema

Na slici je prikazan tipičnu promenu signala kada se mobilna stanica kreće od BS_{old} ka BS_{new}. U tom slučaju, odluka o *handover-u* donosi se na osnovu srednje vrednosti nivoa prijemnog signala. BSC prikuplja informacije o nivou signala i greški prenosa od svih BTS-a i svih MS-ai računa srednje vrednosti. Te vrednosti se upoređuju sa unapred definisanim pragovima, tj marginama (HO_MARGIN). Pri kretanju MS od BS_{old} ka BS_{new}, nivo signal BS_{old} opada, a nivo signala BS_{new} raste, u trenutku kada razlika između nivoa premaši vrednost HO_MARGIN, inicira se proces *handover-a*.



U zavisnosti od toga kada se prekida komunikacija sa starom radio kanalu postoje dva tipa *handover-a*:

- *hard handover*: komunikacija na starom radio kanalu se prekida pre uspostavljanja komunikacije na novom radio kanalu;
- *soft handover*: komunikacija na starom radio kanalu se prekida tek po uspostavljanju komunikacije na novom radio kanalu; (kod *handover-a* tipa 2, 3 i 4 znači da MS izvesno vreme istovremeno održava komunikaciju sa dve ili više BS).

Uspešni *handover-i* u GSM-u se mogu vršiti za brzine kretanja mobilnih korisnika do 250 km/h.

2.4 Roaming

Roaming se definiše kao mogućnost mobilnog korisnika da automatski poziva i prima pozive, šalje i prima podatke ili koristi druge servise kad putuje van geografske oblasti pokrivanja njegove matične mreže (HN - *Home Network*), u smislu korišćenja resursa mreže na čijoj se teritoriji nalazi trenutno (VN - *Visited Network*). Uspostavljanje *roaming-a* između dva operatora vrši se na osnovu odgovarajućih sporazuma i ugovora.

Ako se VN nalazi u istoj državi kao i HN, radi se o *nacionalnom roaming-u*. Ukoliko je pak VN na teritoriji druge države, radi se o *internacionalnom roaming-u* (koristi se i termin *globalni roaming*).

Ukoliko VN koristi drugačiji standard od HN, radi se o *Inter-standard roaming-u*.

2.5 Registracija i ažuriranje lokacija

Registracija i ažuriranje lokacije mobilnog korisnika inicira se kada se desi jedan od sledećih slučajeva:

1. Promena LA u kojoj se nalazi MS,
2. Zahtev za periodičnim ažuriranjem,
3. U trenutku uspostavljanja/raskidanja veze.

Ova procedura ima sledeći tok:

1. BSS u regularnim intervalima radiodifuzno šalje ID svog LA-a. MS to periodično verifikuje. U slučaju promene lokacije inicira se ažuriranje lokacije.
2. BSS emituje takozvane *intervale ažuriranja* (*update intervals*). MS tada inicira registraciju kada istekne vreme na njegovom tajmeru. Ažuriranje se može i ranije izvršiti ukoliko mobilni terminal ima neku aktivnost pre isteka datog vremena.
3. Pri isključivanju terminala, on šalje poruku "raskinuto (deattach)". Prei ponovnom uključivanju terminala u mrežu, on šalje poruku "uključeno (attach)".

Mobilna stanica se registruje kod BTS-a od kog prima najjači signal.

2.6 Sigurnost u GSM mreži

GSM nudi nekoliko nivoa sigurnosti servisa korišćenjem poverljivih informacija koje su smeštene u AuC (autentifikacionom centru) i u individualnom SIM modulu koji se ubacuje u proivoljnu MS. U

SIM kartici se nalaze poverljivi podaci koji su zaštićeni od neovlašćenog korišćenja pomoću PIN (*Personal Identifier Number*) broja. Servisi za obezbeđivanje sigurnosti u GSM-u su:

- **Kontrola pristupa i autorizacija:** Najpre se vrši provera validnosti korisnika SIM-a. Korisnik mora da posede tajni PIN broj da bi pristupio SIM-u. Zatim se vrši autorizacija korisnika.
- **Tajnost:** Svi podaci koji se odnose na korisnika su enkriptovani. Posle autorizacije, BTS i MS vrše šifrovanje govora, podataka i signalizacije. Ova tajnost postoji samo između MS i BTS, ali ne postoji u celoj GSM mreži ili "od kraja do kraja"
- **Anonimnost:** U cilju obezbeđivanja anonimnosti, svi podaci su enkriptovani pre prenosa i pri tome se umesto IMSI broja, korisniku dodeljuje privremeni TMSI broj, koji se menja pri svakoj promeni VRL-a. Takođe VRL može izvršiti promenu TMSI broja u svakom momenatu.

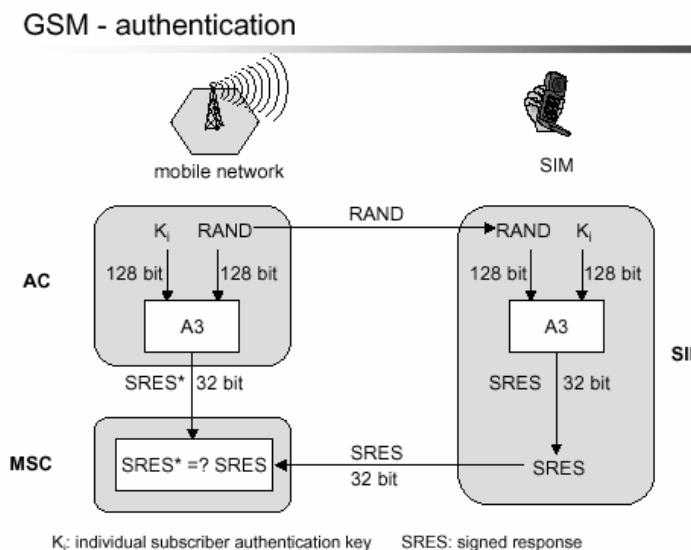
U GSM-u se koriste tri algoritma koji obezbeđuju sigurnost:

- **Algoritam A3** koji se koristi za **autorizaciju**,
- **Algoritam A5** koji se koristi za **šifrovanje** i
- **Algoritam A8** koji se koristi za **generisanje ključa za šifrovanje**.

2.6.1 Autorizacija

Pre korišćenja bilo kog servisa u GSM mreži, korisnik mora biti autorizovan. Autorizacija se bazira na SIM modulu, u kome se nalazi **ključ za autorizaciju Ki**, **korisnički identifikacioni broj IMSI** i algoritam za autorizaciju **A3**. U delu za kontrolu pristupa AC (*Access Control*) generiše se slučajni broj RAND i prosleđuje se mobilnoj stanici. SIM koji se nalazi u toj MS generiše tzv. "potpisani odgovor", SRES (*Signed Response*). Centar za autorizaciju, AuC za svakog korisnika (tj. Za svaki IMSI) generiše slučajnu vrednost RAND, potpisani odgovor SRES i ključ za šifrovanje Kc , a zatim prosledi te informacije HLR-u. Tekući VLR zahteva od HLR-a date informacije od HLR-a.

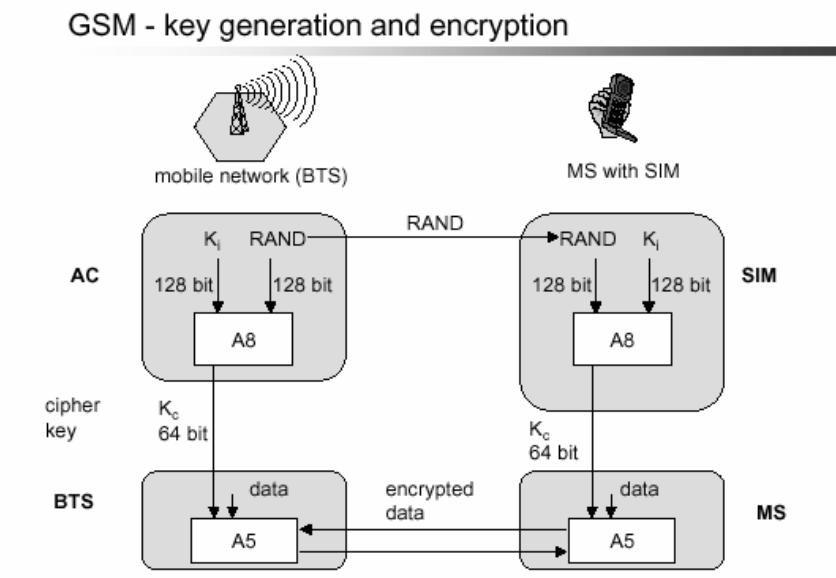
Sama autorizacija se odvija na sledeći način: VLR šalje služanju vrednost RAND mobilnoj stanici. Na obe strane, i u mrežnom delu i kod mobilne stанице, pomoću RAND i Ki generiše se SRES broj na isti način, korišćenjem algoritma A3. MS šalje generisani SRES generisan pomoću SIM-a i VLR je upoređuje sa vrednošću SRES-a generisanoj u mrežnom delu. Ako su SRS i SRES* vrednosti iste, VLR prihvata korisnika, u suprotnom korisnik se odbija.



2.6.2 Šifrovanje

U cilju osiguranja privatnosti u GSM-u se sve poruke koje sadrže informacije o korisniku šifruju. Posle izvršene autorizacije, MS i BTS počinju korišćenje šifrovanje korišćenjem **ključa za šifrovanje Kc**. Kc se generiše korišćenjem ključa za autorizaciju Ki i slučajne vrednosti RAND pomoću algoritma A8. Ključ Kc se ne prenosi, veći SIM u MS i mrežni deo generišu isti Kc baziran na vrednosti RAND.

MS i BTS vrše šifrovanje i dešifrovanje podataka korišćenjem algoritma A5 i ključa za šifrovanje Kc.



2.7 Višestruki pristup u GSM sistemu

Pošto je raspoloživi frekvenčijski opseg ograničen i deljen od strane svih korisnika, potrebno je naći način za povećanje kapaciteta raspoloživog frekvenčijskog opsega, a da pri tome sve ćelije mogu raditi simultano (istovremeno i nezavisno). Postoji više tehnika za višestruki pristup:

- na bazi prostorne raspodela kanala (*Space Division Multiple Access - SDMA*),
- na bazi frekvenčijske raspodela kanala (*Frequency Division Multiple Access - FDMA*),
- na bazi vremenske raspodele kanala (*Time Division Multiple Access - TDMA*),
- na bazi kodne raspodele kanala (*Code Division Multiple Access - CDMA*).

U GSM sistemu se koristi kombinacija SDMA, TDMA/FDMA uz korišćenje frekvenčijskog skakanja.

Višestruki pristup na bazi frekvenčijske raspodele kanala - FDMA

Multipleks, odnosno višestruki pristup na bazi frekvenčijske raspodele kanala se zasniva na tome da se kanali unutar ćelije razlikuju po frekvenčiji. Ovom tehnikom je jednom korisniku u vremenu dodeljen jedan kanal. Kanal je nedostupan drugim korisnicima sve dok se prethodni poziv ne završi ili dok se ne izvrši *handover* na susednu ćeliju. Svakoj mobilnoj jedinici unutar ćelije dodeljen je skup od dve frekvenčije za komunikaciju od mobilne jedinice ka stanicama i obrnuto - dupleks sistem. Veličina korišćenog frekvenčijskog opsega određuje koliko telefona može da radi unutar nje. Tako,

na primer 200 kanala u FDMA sistemu može istovremeno da opsluži 100 poziva. Ova tehnologija je korišćena u analognim sistemima prve generacije (NMT, AMPS, TACS).

Višestruki pristup na bazi vremenske raspodele kanala - TDMA

TDMA koji se koristi u GSM-u je zapravo hibridni sistem (TDMA/FDMA) koji primenjuje višestruki pristup korišćenjem vremenske raspodele u FDMA strukturi. Svaki radio kanal se konvertuje u vremenski domen što tako što se deli na određeni broj vremenskih slotova. Kao rezultat, različiti korisnici mogu koristiti istu frekvenciju, ali ne u isto vreme. Ukupan broj kanala predstavlja proizvod broja frekvencija u ćeliji, broja vremenskih slotova po kanalu i *frequency reuse* faktora. TDMA dozvoljava korisniku da koristi ceo frekvencijski kanal sve dok nema drugih zahteva. Kada postoji više korisnika oni koriste različito alocirane vremenske slotove u istom frekvencijskom kanalu. Bazna stanica kontinualno vrši prebacivanje sa jednog na drugog korisnika unutar kanala.

Višestruki pristup u GSM biće objašnjen na prijeretu GSM-900 sistema. U ovom sistemu raspoloživa su dva frekvencijska opsega širine 25 MHz:

- 890 - 915 MHz za *uplink* (od MS do BS)
- 935 - 960 MHz za *downlink* (od BS do MS).

Opseg od 25 MHz se korišćenjem FDMA šeme deli na 124 nosećih frekvencija koje su razmaknute za po 200 KHz. (Opseg od 25 MHz može se podeliti na 125 nosećih frekvencija, ali se u GSM-u prva noseća frekvencija koristi kao zaštita između GSM i ostalih servisa koji rade na nižim frekvencijama). Svakoj frekvenciji se pridružuje kanal širine 30 kHz. Kako se i *uplink* i *downlink* opseg deli na 124 kanala, dobija se 124 *full-duplex* parova kanala. Svakoj baznoj stanicu se dodeljuje jedan ili više parova frekvencija koje se koriste unutar date ćelije. Svaka noseća frekvencija se dalje deli, korišćenjem TDMA šeme, na vremenske slotove aproksimativne dužine od 0.577ms (15/26 ms). Osam uzastopnih vremenskih slotova čine TDMA ram trajanja 120/26 ms (približno 4.615 ms). Ovi ramovi su grupisani na dva različita načina formiranja multiramova.

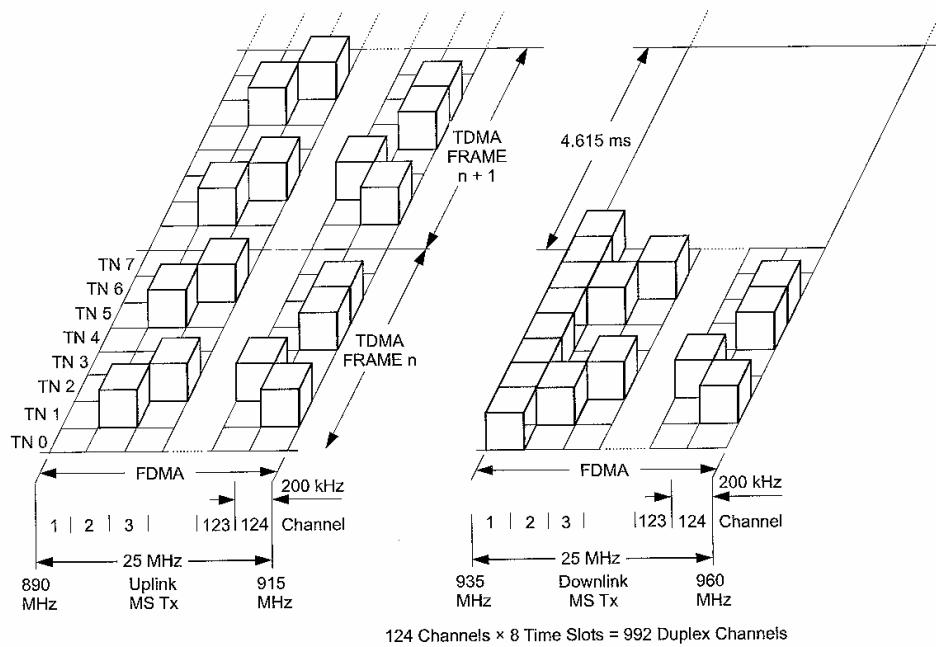
- Multiramovi (nad-ramovi) sa 26 ramova dužine od 120ms u kojima se nalazi 26 TDMA ramova. Oni se koriste za saobraćajne kanale i njihove pripadajuće kontrolne kanale.
- Multiramovi (nad-ramovi) od 51 rama sa dužinom od 235.5ms (3060/13 ms). Oni se isključivo koriste za upravljačke kanale.

Fizički kanal je definisan kombinacijom RF kanala i TDMA vremenskim slotom. Ovo znači da svaki RF nosioc u sistemu ima osam fizičkih kanala. Interesantno je istaći da multiramovska struktura korišćena u svakom fizičkom kanalu je nezavisna, od onih u ostalim kanalima. To znači da fizički kanali koji koriste iste RF frekvencije (osam fizičkih kanala sa različitim vremenskim slotovima) ne moraju da koriste isti tip multirama.

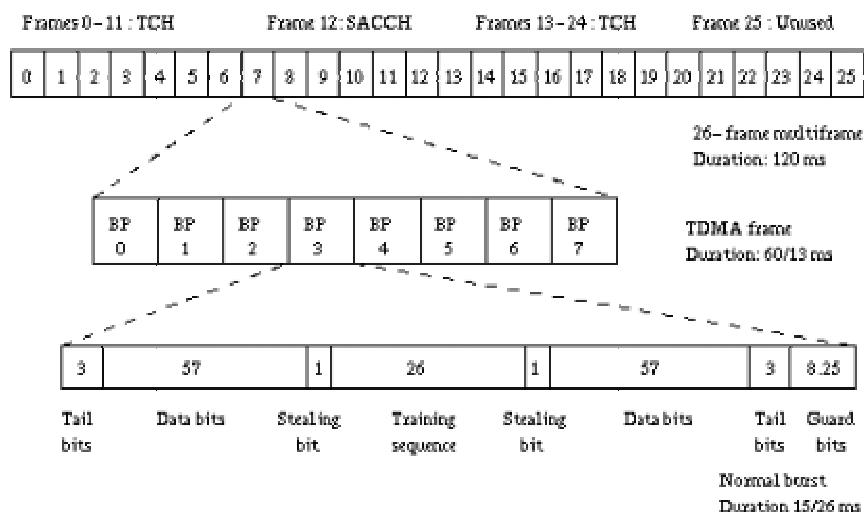
Sledeći hijerarhijski nivo je super-ram trajanja 6.12s (1326 ramova) koji se sastoji od :

- 21 multirama koji se sastoje od 51 rama ili
- 56 multiramova koji se sastoje od 26 rama.

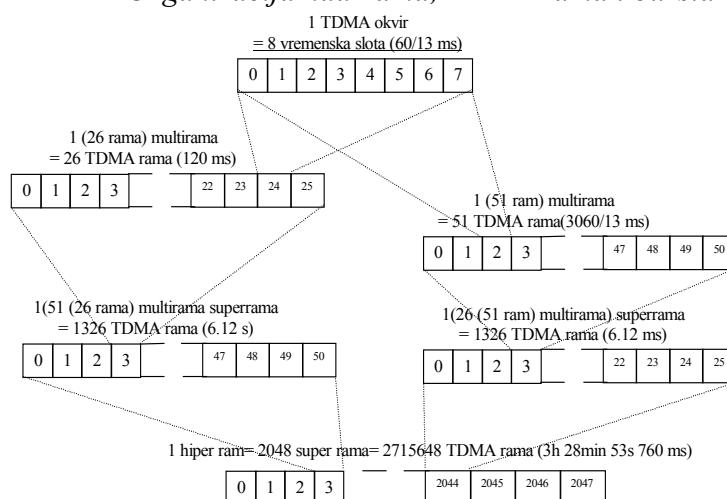
Konačno, postoji viši hijerarhijski nivo poznatiji kao hiper-ram, koji sadrži 2048 super-ramova (2715648 TDMA ramova) trajanja 12533.76s (3h 28min 53s 760ms).



Struktura TDMA rama



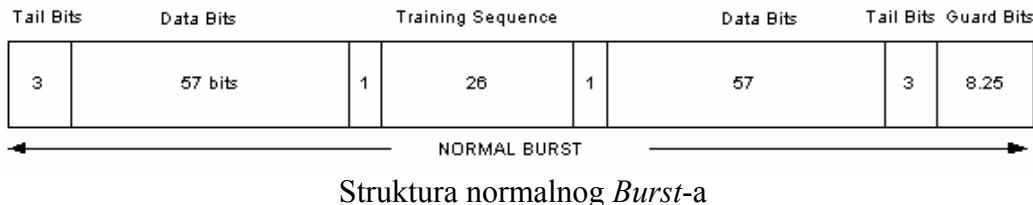
Organizacija nad-rama, TDMA rama i bursta



Ram, nad-ram, superram i hiperram

Postoje 4 vrste *burst*-ova:

- normalni *burst* (koristi se za prenos govora i podataka),
- *burst* za korekciju frekvencije (koristi se u FCCH kanalu),
- *burst* za korekciju sinhronizacije (koristi se u SCH kanalu) i
- *burst* za slučajni pristup (koristi se u RACH kanalu).

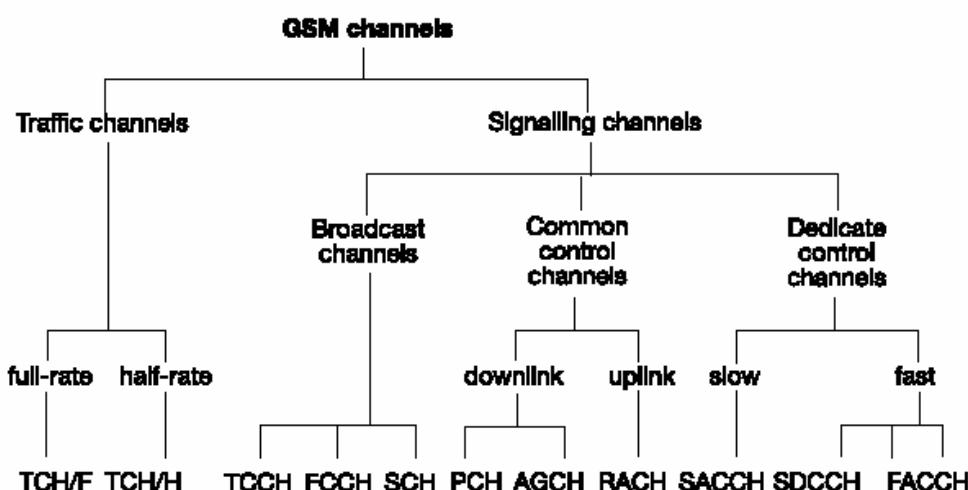


Struktura normalnog *Burst*-a

Logički kanali su definisani po broju i poziciji njihovih odgovarajućih *burst* perioda. Sve definicije su ciklične i patern se ponavlja približno svaka tri sata. Kanali se dele na posebne kanale pridružene mobilnoj stanicici i zajedničke kanale.

Po standardu IS-136 postoje podela na dve grupe kanala:

- saobraćajni kanali (DTCH - *Digital Traffic Channel* ili TCH - *Traffic Channel*) I
- kontrolni (signalizacioni kanali) kanali (DCCH - *Digital Control Channel*).



Saobraćajni kanali, TCH, se koriste za prenos govora i podataka. Saobraćajni kanali koriste multiramove koji se sastoje od 26 ramova, od kojih se 24 koriste za saobraćajne kanale, 1 je predviđen za kontrolni kanal, SACCH, (*Slow Associated Control Channel*), a 1 je trenutno neiskorišćen. SACCH kontrolni kanal služi za prenos sporih kontrolnih signala zajedno sa informacionim signalima. Postoje dve vrste saobraćajni kanala:

- TCH/F (*Full-rate TCH*) - saobraćajni kanal kojim se vrši prenos punom brzinom (22.8 kbit/s).
- TCH/H (*Half-rate TCH*) - saobraćajni kanal kojim se vrši prenos polovinom pune brzine brzinom (11.4 kbit/s).

Kontrolni kanali mogu biti:

- BCH - broadcast kanali (*broadcast control channels*)
- CCCH- zajednički kontrolni kanali (*common control channels*)
- DCCH - rezervisani kontrolni kanali (*dedicated control channels*)

BCH- broadcast kanali

Prenos preko ovih kanala je jednosmeran, u smeru od BS ka MS (*downlink*). Koristi ih BS da bi omogućila MS da se sinhronizuje sa mrežom.

- BCCH (*Broadcast Control Channel*) - preko ovog kanala BS emituje informacije o parametrima koji su potrebni mobilnoj stanici da se identificuje i pristupi mreži (informaciju o identitetu bazne stanice, alokaciju frekvencije i *frequency hopping* sekvence);
- SCH (*Synchronization Channel*) - preko ovog kanala BS emituje training sekvencu koja je potrebna da bi se izvršila demodulacija signala koji MS prima od bazne stanice.
- FCCH (*Frequency Correction Channel*) - ovim kanalom BS šalje referentnu frekvenciju kako bi se MS uspešno sinhronizovala;

CCCH- zajednički kontrolni kanali (Common Control Channels)

Koriste se za pri uspostavljanju poziva, od strane mreže ili od strane MS.

- RACH (*Random Access Channel*) - ovim kanalom MS se šalje zahtev za pristup mreži. Koristi se isključivo u *uplink*-u;
- AGCH (*Access Grant Channel*) - preko ovog kanala BS obaveštava MS o kanalu koji traga da koristi; Koristi se isključivo u *downlink*-u;
- PCH (*Paging Channel*) - koristi se da BS signalizira mobilnoj stanici dolazeći poziv. Koristi se isključivo u *downlink*-u;

DCCH - Rezervisani kontrolni kanali (Dedicated Control Channels)

Postoji 3 DCCH kanala:

- SDCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) - koristi se za razmenu signalizacije u *downlink* i *uplink* smeru. koristi se pre saobraćajnog kanala i najčešće se koristi pri uspostavljanju poziva.
- SACCH (*Slow Associated Control Channel*) - spori pridruženi kontrolni kanal i
- FACCH (*Fast Associated Control Channel*) - brzi pridruženi kontrolni kanal.

SACCH i FACCH su kontrolni kanali pridruženi saobraćajnom kanalu tokom poziva. Razlika je u informacijama koje se njim prenose. Informacije malog prioriteta, kao što su rezultati merenja nivoa signala različitih BTS-a od strane mobilne stanice, prenose se preko SACCH. Informacije viokog prioriteta, npr. one koje se razmenjuju prilikom *handover*-a, prenose se preko FACCH.

2.8 Uspostavljanje poziva (sa stanovišta korišćenja logičkih kanala)

Funkcije pojedinih kanala biće objašnjene na primeru uspostavljanja poziva, pri čemu se razmatra samo komunikacija između BTS i MS.

2.8.1 Mobilni korisnik poziva (MOC - Mobile Originating Call)

- MS šalje zahtev za uspostavljanjem poziva preko RACCH kanala;
- BSC odgovara, preko AGCH kanala, dodeljujući SDCCH kanal preko koga će se prenositi potrebne signalizacione informacije;
- MS šalje zahtev za servisom (specifyira tip servisa);
- BSC inicira proces autorizacije MS. Mreža šalje slučajnu reč, na osnovu koje MS generiše odgovor u skladu sa svojim internim identifikacionim podacima;

- MS šalje izračunati odgovor na poslatu reč. Ovaj odgovor se upoređuje sa rezultatima iste operacije izvršene u samoj mreži;
- BTS inicira prelazak u šifrovani mod komunikacije;
- MS šalje broj koji bira. Bazna stanica otvrđuje prijem broja.
- Dodela saobraćajnog kanala. Bazna stanica šalje informaciju o tome koji kanal će biti korišćen za traženi poziv (preko SDCCH kanala). Kada MS potvrdi prijem, SDCCH kanal se oslobađa, a signalizacione informacije se dalje prenose preko pridruženih kanala;
- Alert (MS zvoni) i uspostavljanje veze. Bazna stanica šalje ovu informaciju i kada MS potvrdi, dvosmerna komunikacija je uspostavljena preko TCH kanala.

Akcija	Inicijator	Kanal
Zahtev za dodelu kanala	MS	RACCH
Dodela kanala	BTS	AGCH
Zahtev za servisom	MS	SDCCH
Proces autorizacije		SDCCH
Šifrovanje	BTS	SDCCH
Biranje želenog broja	MS	SDCCH
Dodela kanala	BTS	SDCCH
Konekcija	BTS	TCH

2.8.2 Pozivanje mobilnog korisnika (MTC - Mobile Terminating Call)

- Preko PCH kanala šalje se pejdžing signal mobilnoj stanici preko svih baznih stnica u lokalnoj oblast (LA) u kojoj se nalazi bazna stanica;
- MS zahteva pristup signalizacionom kanalu preko RACCH kanala. Informaciju o dodeljenom signalu MS dobija preko AGH kanala. Dodeljeni kanala je SDCCH.
- MS šalje informaciju da je pristupila kanalu kao odgovor na pejdžing poslat preko PCH kanala.
- Vrši se proces autorizacije i prelazak u šifrovani mod;
- Prenos podataka vezanih za oziv. BTS, u šifrovanim obliku, šalje informaciju o tipu servisa i podacioma o pretplatniku koji je inicirao poziv.
- MS potvrđuje prijem ovih informacija;
- Bazna stanica dodeljuje saobraćajni kanal i kada MS to potvrdi oslobađa SDCCH.
- Alert i uspostavljanje veze. MS zvoni, korisnik se javlja, MS šalje tu informaciju preko FACCH kanala i dalja komunikacija se odvija preko TCH kanala.

Akcija	Inicijator	Kanal
Pejdžing mobilne stanice	BS	PCH
Zahtev za dodelom kanala	MS	RACCH
Dodela kanala	BTS	AGCH
Potvrda prijema poruke	MS	SDCCH
Proces autorizacije		SDCCH
Šifrovanje	BTS	SDCCH
Alert	MS	SDCCH
Dodela kanala	BTS	SDCCH
Konekcija	BTS	TCH

TEHNOLOGIJE NA PRELAZU OD DRUGE KA TREĆOJ GENERACIJI MOBILNIH SISTEMA

1. UVOD

Ograničenja prve generacije mobilnih sistema (analogni sistemi sa malim kapacitetom mreže, ograničena zona pokrivanja, brojni nekompatibilni standardi u Evropi i svetu itd), podstakla su razvoj sistema druge generacije koji se pojavljuju početkom 90-tih godina i koji su zasnovani na digitalnoj tehnologiji.

Četiri osnovna svetska standarda koji su korišćeni kod druge generacije digitalnih celularnih sistema su:

- GSM (*Global System for Mobile Communications*) tj. globalni sistem za mobilne komunikacije, uveden je 1992. godine i to je prvi komercijalni digitalni standard.
- TDMA (*Time Division Multiple Access*) ili, kako se još naziva, IS-136 ili TDMA IS-136 je sistem sa višestrukim pristupom na bazi vremenske raspodele kanala koji se obično predstavlja kao digitalni standard Severne Amerike mada je on razvijan i u Južnoj Americi, Aziji i Istočnoj Evropi.
- CDMA ili IS-95 je baziran na "uskopojasnoj" (kaže se uskopojasnoj zbog ograničene količine informacija koja može proći kroz ovu mrežu) CDMA (*Code Division Multiple Access*) tehnologiji tj. tehnologiji sa višestrukim pristupom baziranim na raspodeli kodova. Koristi se uglavnom u Južnoj Koreji i Severnoj Americi.
- PDC (*Personal Digital Communications*) je sistem personalne digitalne komunikacije koji predstavlja osnovni digitalni standard u Japanu.

Svi ovi standardi podržavaju prenos podataka brzinom od 9,6 Kb/s.

U samom početku standardizacije GSM mreža je projektovana da podrži govorni servis. Servisi prenosa podataka su počeli da se primenjuju kasnije (npr. Fax servis je otpočeo 1994., a SMS 1996. godine). Kako se mobilna mreža na tržištu javlja kao konkurent fiksnoj mreži, a korisnici servisa prenosa podataka sve više zahtevaju mobilnost, poslednjih godina se operatori mobilnih mreža u razvoju usmeravaju prema mobilnim sistemima koji omogućavaju efikasan prenos podataka. Uloga prenosa podataka je posebno naglašena razvojem računarskih mreža i masovnim korišćenjem Interneta.

Prenos podataka ne zahteva sinhronizaciju između izvora informacije i prijemnika informacije, dakle moguće je prihvatići značajnije kašnjenje u prenosu; moguće je koristiti sisteme sa čekanjem. Karakteristika bežičnog prenosa je da postoji primetno kašnjenje u prenosu signala kako zbog različitih dužina puteva propagacije signala, tako i zbog primenjenih metoda modulacije signala. Međutim, zbog same prirode informacije, ova karakteristika bežičnog prenosa bitno ne utiče na kvalitet prenosa podataka. Za prenos podataka karakteristično je da se značajna količina informacija šalje u vrlo kratkom vremenskom periodu (paket podataka). Veličina paketa podataka i brzina prenosa tog paketa zavise od raspoložive širine frekvencijskog opsega za datu komunikaciju. Osnovno ograničenje za bežični prenos je ograničena širina frekvencijskog opsega.

Medjutim, prenos podataka je veoma osetljiv na bitske greške, što postavlja stroge zahteve pred mrežu i posebno terminale korišćene u bežičnom prenosu podataka.

Tržište mobilnih komunikacija pratilo je trend porasta zahteva za prenosom podataka i zahvaljujući tome, u okviru sistema druge generacije razvili su se i sistemi poboljšane odnosno usavršene druge generacije. Često se mogu sresti i označke 2G+ i 2G++ koje označavaju sisteme koji su razvijeni na osnovu standarda 2G sistema i koji predstavljaju prelaznu fazu ka sistemima treće generacije.

Kada se radi o GSM sistemima, u cilju povećanja protoka podataka razvijena su tri standarda na putu ka trećeoj generaciji i to:

- 1) *High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)*,
- 2) *General Packet Radio Service (GPRS)* i
- 3) *Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)*.

2. HSCSD

HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) je uveden 1999. godine kao nadogradnja GSM standarda. To je zapravo specifikacija (standard) za transfer podataka preko GSM mreže. Osnovna odlika: prenos podataka se i dalje vrši komutacijom kanala, ali je povećana brzina prenosa podataka. Prenos podataka obavlja se istovremenim korišćenjem nekoliko vremenskih slotova (obično 4) pri čemu je podržana dinamička alokacija vremenskih slotova. Kod GSM900 brzina prenosa podataka je do 38,4 kb/s (4x9,6 kb/s). Kod GSM1800 moguća je još veća brzina, do 57,6 kb/s (4x14,4 kb/s).

HSCSD ima jako dobre mogućnosti rada u realnom vremenu pa je pogodan, na primer za video konferencije. On garantuje kvalitet video transfera jer ima dodeljen ceo komutacioni kanal, tako da je bolji za aplikacije osetljive na kašnjenje. Ovaj sistem se na jednostavan način dograđuje na postojeću GSM strukturu, samo softverski. Medjutim, u odnosu na GPRS ima brojne nedostatke pa je trenutno mnogo manje zastupljen.

3. GPRS

3.1 UVODNA RAZMATRANJA

U standardnoj GSM mreži prenos podataka vrši se preko *circuit switched data* (CSD) GSM servisa. Ovo znači da se konekcija koristi tokom celokupnog trajanja sesije, čak i dok se podaci ne prenose. Nasuprot tome, GPRS - *General Packet Radio Service*, koji je startovao 2000. godine, koristi tzv. *packet switched data* (PSD) tehniku prenosa. Dok je kod CSD prenosa radio kanal izmedju tačaka A i B duž koga može biti više čvornih tačaka sve vreme zauzet, to nije slučaj kod PSD, naime jedan radio kanal može se deliti izmedju više korisnika, a paketi podataka se isporučuju onda kada je to potrebno pri čmu se ne zauzima ceo kanal. Tako teorijski jedna mobilna stanica može koristiti do 8 vremenskih slotova.

GPRS je, dakle, standardizovani *packet switched data* (PSD) servis za GSM, koji omogućava prenos podataka i pristup paketskim mrežama. Dakle, GPRS na postojeću GSM mrežu dodaje paketsku komutaciju koja omogućava slanje paketa radio interfejsom i to brzinom od **115 kb/s**. Ovaj standard nije razvijen samo za GSM mreže, već je razvijena i varijanta koja se primenjuje za američki TDMA IS-136 sistem.

GPRS je, kako se često naziva, "druga i po" generacija mobilne telefonije. Eksperti smatraju da uvodjenje GPRS-a predstavlja mnogo važniji korak nego prelaz sa GPRS-a na treću generaciju mobilnih sistema, jer predstavlja novu, paketski orientisani tehnologiju koja po prvi put u potpunosti omogućava funkcionalnost mobilnog Interneta. On zamenjuje CSD i SMS servise. Njegove ključne karakteristike su:

- veća brzina prenosa,
- neprekidna priključenost na Internet (*always on*),
- nove i kvalitetnije aplikacije, što praktično znači da je moguće korišćenje svih opcija koje današnji fiksni Internet pruža (*E-mail*, *Web* pretraživanje, Internet četovanje, *FTP* (*File Transfer Protocol*) servis itd.)

Kod GPRS sistema se uspostavlja *Internet Protocol* (IP) konekcija sa kraja-na-kraj, od mobilnog terminala (MS - *Mobile Station*) ka *Internet Service Provider* (ISP) serverima i na taj način se omogućuje mobilno korišćenje Interneta. Pri tome, GPRS radio kanali se dodeljuju korisniku samo kada se podaci primaju ili šalju. Radio kanal nije unapred dodeljen MS-u, već kada MS generiše paket podataka, mreža ga prosledjuje ka dostavnoj adresi preko prvog slobodnog radio kanala. Pri tome, nekoliko GPRS korisnika mogu da dele jedan kanal na osnovu dinamičke alokacije resursa. Zato korisnici GPRS sistema mogu biti *on-line* a da pri tome konstantno ne okupiraju radio kanal, pa se i naplata korišćenja GPRS servisa može vršiti na osnovu količine primljenih i/ili poslatih podataka.

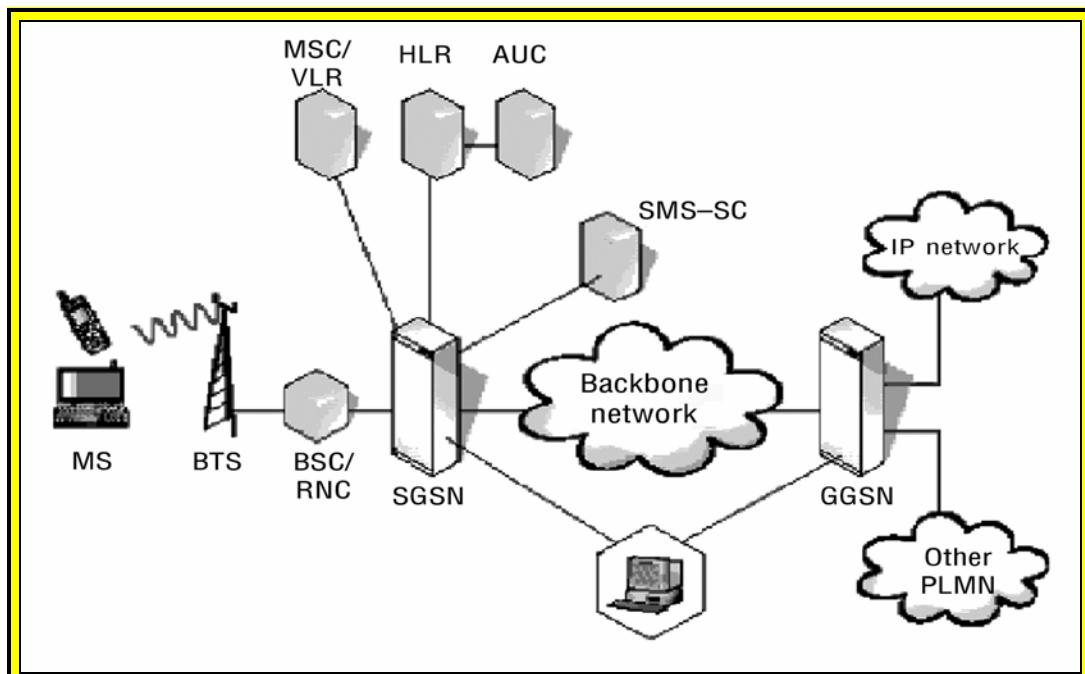
GPRS koristi zajedničke fizičke resurse u koegzistenciji sa postojećim CSD GSM-om, ali na mnogo efikasniji način. Zapravo, GPRS predstavlja ekstenziju GSM arhitekture. Uvodjenje GPRS sistema ne zahteva novo frekvencijsko planiranje, već se koriste postojeće GSM frekvencije. Uvodjenjem GPRS sistema u GSM sistem, moguće je koristiti i CSD i PSD komunikaciju, a funkcije paketskih podataka ne ometaju CSD servise podržane u GSM sistemu.

3.2 ARHITEKTURA GPRS SISTEMA

Veoma malo novog hardvera je potrebno da bi se na postojeću GSM mrežu dogradio GPRS. Kao što je rečeno, GPRS sistem predstavlja ekstenziju arhitekture GSM mreže. Pošto GPRS sistem u prenosu podataka koristi paketsku komutaciju, paketski prenos podataka se odvija po novoj IP *backbone* mreži i odvojen je od postojećeg GSM jezgra mreže koje se koristi za CS saobraćaj (uglavnom govor). Takođe, potrebna su dva nova logička čvora, koji izvršavaju komutaciju paketskih podataka. To su

- **GPRS servisni čvor - SGSN** (*Serving GPRS Support Node*) koji omogućava radio interfejs na bazi paketa preko postojeće GSM mreže. Ovaj čvor opslužuje korisnike određenog područja i ostvaruje vezu prema komutacionom centru mobilnog sistema - MSC-u (*Mobile Switching Centre*)
- **Ulazni GPRS čvor - GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*) obezbeđuje interfejs prema spoljnim IP paketskim mrežama.

Struktura GPRS mreže prikazana je na slici.



MS - mobilna stanica (mobilni terminal)

Mobilni terminal mora biti opremljen sa softverom za GPRS funkcije. GPRS standard je definisao tri nova tipa mobilnih terminala:

- Terminal klase A, koji podržava istovremeni transfer komutacijom kanala i komutacijom paketa, dakle korisnik može biti konektovan na klasičnu GSM mrežu i koristiti GSM servise i istovremeno koristiti paketski transfer podataka. Oba tipa usluga se vrše nezavisno jedna od druge
- Terminal klase B, koji podržava obe vrste transfera, ali ne istovremeno. Ovaj terminal u jednom trenutku podržava ili samo komutaciju kanala ili komutaciju paketa, ali je bitno da se prebacivanje sa jednog na drugi mod vrši automatski.
- Terminal klase C, koji mora biti manuelno postavljen na jedan od mogućih modova rada: komutacija kanala i komutacija paketa podataka. Kada terminal klase C radi u modu sa komutacijom kanala on je nedostupan za rad u modu sa komutacijom paketa i obrnuto.

BTS (*Base Transceiver Station*) - bazna primopredajna stanica

Bazne primopredajne stanice moraju sadržati specifični GPRS softver.

BSC (*Base Station Controller*) - kontrolni centar baznih stanica

BSC omogućava sve radio funkcije. On mora biti opremljen sa GPRS hardverom i softverom za korišćenje u GPRS sistemu. Novi hardver u BSC-u predstavlja *Packet Control Unit* (PCU).

Ovaj kontrolni centar prosledjuje:

- pozive na bazi komutacije kanala ka odgovarajućem centru za komutaciju - MSC (*Mobile Switching Center*) i bazi podataka VLR (*Visitor Location Register*),
- GPRS pozive ka GPRS servisnom čvoru.

SGSN (*Serving GPRS Support Node*)

GPRS servisni čvor je nova i primarna komponenta u GPRS sistemu. Ovaj servisni centar prosledjuje dolazne i odlazne IP pakete adresirane ka mobilnim stanicama i od mobilnih stanica unutar odgovarajućeg servisnog područja. Takođe, ovaj centar obezbeđuje rutiranje paketa i njihov transfer ka i od SGSN servisnog područja. SGSN opslužuje sve GPRS pretplatnike koji su fizički locirani unutar svog geografskog servisnog područja.

GGSN (*Gateway GPRS Support Node*)

Ulagani GPRS čvor je takođe nova i primarna komponenta, koja omogućava vezu sa spoljašnjim (eksternim) IP paketskim mrežama.

BACKBONE NETWORK

Na nivou okosnice mreže definisan je novi protokol koji rešava probleme nastale zbog mobilnosti aparata i procedure registracije i provere autentičnosti korisnika, koji se javljaju kod postojećeg internet protokola. Taj novi protokol je nazvan GTP (*Generic Tunneling Protocol*). GTP "tunel" se nalazi izmedju dva GPRS ruteru: SGSN sa jedne strane i GGSN sa druge strane.

VLR (*Visitor Location Register*) i HLR (*Home Location Register*)

GPRS koristi istu infrastrukturu razvijenu za GSM neophodnu za potrebe provere autentičnosti, registracije korisnika i rominga.

- VLR sadrži bazu podataka o korisnicima koji se trenutno nalaze u oblasti njegovog pokrivanja.
- HLR je baza podataka koja sadrži pretplatničke informacije o korisnicima servisa koje je ponudio GSM/GPRS operator. U HLR-u se nalazi stalna baza podataka registrovanih korisnika kao i informacije o njihovom trenutnom VLR-u.

3.3 PREDNOSTI I NEDOSTACI GPRS-a

Postoji nekoliko puteva kojima GSM operateri mogu krenuti kako bi svojim korisnicima omogućili brže usluge prenosa podataka i mobilni Internet. Jedno od rešenja koje im stoji na raspolaganju je HSCSD što je, u početku, manja investicija. Međutim, GPRS je sa stanovišta tehnologije zanimljiviji jer je bliži onome što nude sistemi treće generacije. Većina evropskih operatera već ima funkcionalnu GPRS mrežu, a poneki imaju kombinaciju sa HSCSD uslugom. Dodatna prednost GPRS-a jeste i to što se ovaj sistem može selektivno uvoditi (deo po deo). GSM operateri mogu da odluče da u početku GPRS uslugom pokriju samo urbane delove zemlje. U tom slučaju će mobilni telefon automatski uključiti GPRS servise u geografskom području gde postoji GPRS podrška.

GPRS koristi postojeću GSM radio mrežu, pa novo frekvencijsko planiranje nije potrebno.

Za krajnje korisnike je bitna prednost što su, bar teorijski, neprekidno na mreži (online). Treba ipak znati da se u praksi, bar zasad, ne postižu deklarisane brzine prenosa podataka. Neki mobilni telefoni koji se danas pojavljaju na tržištu podržavaju 2 kanala za prijem podataka, od čega svaki omogućava brzinu od 13.4 Kbit/s, dakle ti aparati zasad, omogućavaju propusnost do otprilike 26.8 Kb/s u prijemu podataka, što je samo malo slabije od modema kapaciteta 28,8 Kb/s. Za slanje se uvek koristi jedan kanal (vremenski slot), dakle, 13.4 Kb/s, što i nije veliko ograničenje, budući da se velika količina podataka uglavnom prenosi upravo prema korisniku, a ne od njega. Neki GPRS telefoni imaju podršku za 3 prijemna kanala (40.2 Kbit/s) i 4 prijemna kanala (53.6 Kbit/s). Valja, naravno, znati da su ove brzine teorijske. Ukoliko veći broj korisnika u krugu pokrivanja iste ćelije pokuša istovremeno da koristi GPRS usluge, vremenski slotovi, tj. kapaciteti mreže će se raspodeliti među njima. To znači da uvek postoji mogućnost da prenos podataka ide sporije od očekivanog.

Korisnicima mobilnog Interneta takodje je bitno kako se prenos podataka putem GPRS-a naplaćuje. GPRS se tarifira zavisno od količine prenesenih podataka što je pravednije od naplate dužine vremena, jer će se plaćati samo oni podaci koji su zaista i preneseni.

Mada GPRS u odnosu na današnje negovorne mobilne usluge obezbeđuje značajno poboljšanje, ipak postoje određena ograničenja, od kojih su najbitnija:

- Ograničen kapacitet ćelije. Naime, postoji ograničen frekvencijski prostor koji se može koristiti za različite potrebe, pa tako prenos podataka i govor koriste iste resurse mreže;
- U stvarnosti brzina prenosa je mnogo manja u odnosu na teorijski moguću zbog ograničenja u mreži i terminalima;
- Za neke aplikacije se javljaju problemi usled kašnjenja, npr. prenos video sadržaja može biti sa nezadovoljavajućim kvalitetom;
- GPRS je baziran na modulacionoj tehnici GMSK (*Gaussian Minimum-Shift Keying*) različitoj od (8- PSK *Eight Phase Shift Keying*) modulacione šeme primenjene kod EDGE-a i koja će se koristiti kod UMTS-a, što smanjuje mogućnost tranzicije prema trećoj generaciji mobilne telefonije (korišćenje EDGE-a zajedno sa GPRS-om može smanjiti ovaj nedostatak);

REZIME

- ◆ Prenos podataka komutacijom paketa
- ◆ Brzina prenosa do 115 Kb/s
- ◆ Više korisnika deli iste resurse vazdušnog interfejsa
- ◆ Omogućava se tarifiranje na osnovu količine prenesenih podataka
- ◆ Koristi se ista modulacija kao kod GSM (GMSK)
- ◆ Koristi se struktura GSM-a
- ◆ Uvode se dva nova čvora za podršku rutiranju paketskog saobraćaja (SGCN i GGCN)
- ◆ Potreban je hardverski dodatak BSC-u
- ◆ Potreban je softverski dodatak BSC-u, MSC/VLR-u, HLR-u i SMS-C-u
- ◆ Postoje tri nova tipa mobilnih terminala

4. EDGE

4.1 UVODNA RAZMATRANJA

EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*) je nova tehnologija koja omogućava GSM operaterima da koriste postojeće GSM frekvencijske opsege (900, 1800, 1900 MHz) za pružanje multimedijalnih usluga na bazi IP-a brzinama do 384 kb/s. Cilj nove tehnologije je da se povećaju brzine prenosa i iskorišćenost spektra i da se omoguće nove aplikacije i poveća kapacitet sistema.

EDGE može biti uveden na dva načina: (1) kao nadogradnja GPRS sistema i (2) kao nadogradnja sistema baziranog na komutaciji kanala. Mi ćemo se zadržati na prvom načinu koji je mnogo više zastupljen.

Osnovna razlika između ranijih tehnologija i EDGE tehnologije je što EDGE uvodi novu tehniku **modulacije i novo kanalsko kodiranje**, pa u principu, zahteva male promene u hardveru i softveru u odnosu na postojeću GSM/GPRS arhitekturu. Dakle, pod pretpostavkom da je već implementiran GPRS, potrebno je izvršiti hardverske izmene u radio delu (baznim stanicama i kontrolerima baznih stanica), pri čemu je potrebno i izvesno replaniranje mreže (snaga, pokrivenost, raspodela frekvencija, upravljanje GSM kanalima) i određene softverske izmene u preostalom delu mreže izuzimajući SGSN i GGSN. GPRS i EDGE imaju različite protokole u delu baznih stanica, dok se u preostalom delu mreže koriste isti protokoli. Dakle, EDGE u suštini najviše izmena donosi u delu baznih stanica i otuda ga je mnogo lakše uvesti nego GPRS.

Kod EDGE sistema jedan vremenski kanal može podržati više korisnika. Ovo omogućava veći kapacitet saobraćaja za servise govora i servise podataka. Takođe, lakša je koegzistencija *circuit-switched* i *packet-switched* saobraćaja. Isti radio resursi su efikasnije iskorišćeni.

U sledećoj tabeli date su osnovne tehničke karakteristike GPRS i EDGE sistema.

	GPRS	EDGE
Modulacija	GMSK <i>Gaussian minimum shift keying</i>	8-PSK/GMSK <i>8-phase shift keying</i>
Symbol rate	270 ksym/s	270 ksym/s
Modulation bit rate	270 kb/s	810 kb/s
Radio data rate per time slot	22,8 kb/s	69,2 kb/s
User data rate per time slot	20 kb/s (CS4)	59,2 kb/s (MCS9)
User data rate (8 time slots)	160 kb/s (182,4 kb/s)	473,6 kb/s (553,6 kb/s)

Kao što se vidi, mada je ista brzina protoka simbola, razlikuje se brzina prenosa modulacionih bitova. EDGE može da prenese tri puta više bitova nego GPRS u istom vremenskom periodu.

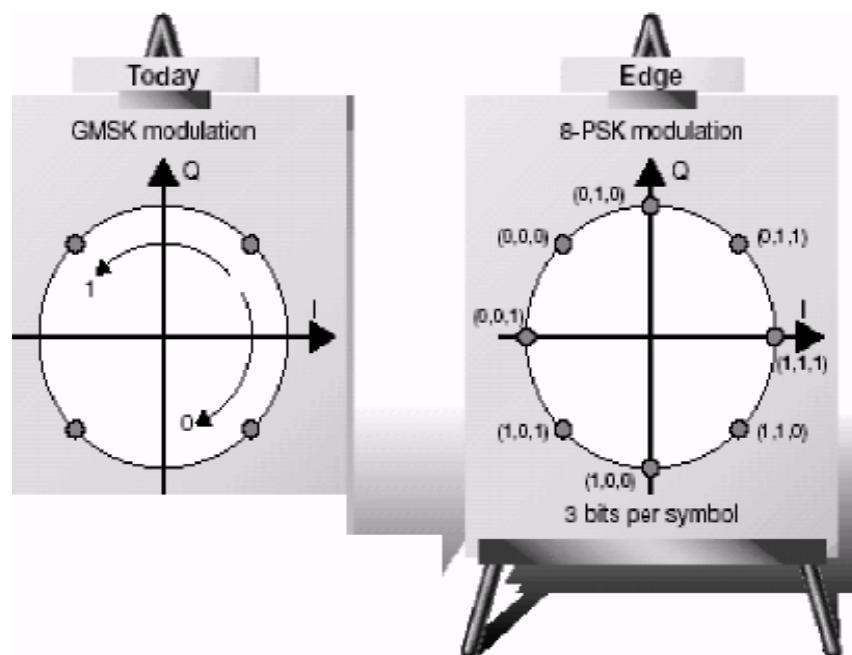
Razlika izmedju brzina prenosa "radio data rate" i "user data rate" je posledica toga da li se uzimaju u razmatranje ili ne hederi paketa podataka.

Brzina od 384 kb/s se često koristi u vezi sa EDGE. Naime, ITU je definisao ovu brzinu kao graničnu da bi se ispunio IMT-2000 standard. Ovo odgovara 48 kb/s po vremenskom slotu, podrazumevajući terminal sa 8 vremenskih kanala.

4.2 NOVE TEHNIKE MODULACIJE I KODOVANJA

Kod GSM se koristi GMSK modulaciona tehnika, koja je vrsta fazne modulacije. Jednim faznim stanjem (jednim simbolom) prenosi se jedan bit.

Kod EDGE tehnike, da bi se povećala ukupna bitska brzina na radio interfejsu uvedena je nova modulaciona šema, 8-PSK modulacija, koja pruža veću bitsku brzinu i bolju spektralnu efikasnost. Karakteristika 8-PSK modulacije je da ona ima, kao što joj i ime kaže, osam faznih stanja, kao što je prikazano na slici. Jednim faznim stanjem (jednim simbolom) moguće je predstaviti tri bita. Iz ovoga je jasno da je bitska brzina po radio interfejsu tri puta veća od brzine simbola. Bruto bitska brzina po jednom vremenskom odsečku je 69,2 kb/s, što je tri puta veće od od bruto bitske brzine po vremenskom slotu u GSM-u, koja je 22,8 kb/s.



Inače, u EDGE-u je zadržana ista širina frekvencijskog spektra od 200 kHz.

Mana ove vrste modulacije je to što je dosta kompleksnija od dosad korišćenih, a manje je otporna na uticaj šuma i ostalih smetnji. Pod lošim uslovima prostiranja to može dovesti do većih grešaka na prijemu. Zato se primenjuje kodovanje koje uvidi dodatne bitove u cilju korekcije grešaka. EDGE kodne šeme su mešavina GMSK i 8PSK. U stvari, za GPRS su razvijene 4 različite kodne šeme, koje su prilagodnjene za različite uslove prostiranja signala, a kod EDGE definisano je čak 9 kodnih šema.

Kod EDGE je takođe načinjeno poboljšanje u smislu mogućnosti da se paket koji zbog nekih smetnji nije valjano dekodovan, retransmituje koristeći drugu, pogodniju kodnu šemu. Ovo nije moguće kod GPRS-a.

4.3. UVODJENJE EDGE-a KOD POSTOJEĆE GSM/GPRS MREŽE

Kod EDGE sistema bazne stanice moraju da imaju novu primopredajnu jedinicu koja podržava EDGE modulaciju, kao i novi softver koji će omogućiti odgovarajući protokol za prenos paketa podataka. Dakle, ćelije nakon uvodjenja EDGE-a imaju dva tipa primopredajnika:

1. standardni GSM primopredajnik,
2. EDGE primopredajnik.

Ostala mreža ne mora se adaptirati.

Postoje 4 tipa kanala (vremenskih slotova):

1. Kanal za GSM govor i GSM kanalno komutirane podatke
2. Kanal za GPRS paketske podatke,
3. Kanal za GSM govor, podatke koji se prenose komutacijom kanala i poboljšanom komutacijom kanala (Enhanced CSD - ECSD),
4. Kanal za EDGE paketske podatke (EGPRS), koji dozvoljava simultano mešanje GPRS i EDGE korisnika.

Dok standardni GSM primopredajnici podržavaju jedino kanale tipova 1 i 2, EDGE podržava sva četiri tipa. Fizički kanali se dinamički dodeljuju prema mogućnostima terminala i potrebama u ćeliji. Na primer, ako je nekoliko pretplatnika koji koriste uslugu govora aktivno, broj tipova kanala 1 će porasti na račun GPRS i EDGE kanala.

Zbog jednostavnog nadgradnje, EDGE se može uvesti uz relativno male investicije i za kratko vreme. Veoma je važno da se EDGE-a može uvoditi postepeno. U početku uvođenja EDGE primopredajnici dopunjavaju standardne GSM primopredajnike u onim ćelijama u kojima se zahteva pokrivanje EDGE signalom. Na taj način postoji koegzistencija GSM, GPRS i EDGE korisnika u istom frekvencijskom opsegu. Da bi se minimizovali napor i troškovi operatora, implementacija EDGE-a ne bi trebalo da zahteva velike modifikacije radio-mrežnog plana (što uključuje planiranje ćelija, frekvencijski plan, određivanje nivoa snage i određivanje ostalih ćelijskih parametara).

Naravno, za EDGE se moraju koristiti novi mobilni terminali, dizajnirani tako da mogu slati i primati EDGE modulisane informacije. Predviđene su dve klase EDGE mobilnih terminala :

- (1) Mobilni terminali koji koriste GMSK modulaciju za uplink, a 8-PSK modulaciju za downlink. Bitske brzine za uplink su ograničene na one koje pruža GPRS tehnologija, dok će bitske brzine koje dozvoljava EDGE tehnologija biti dostupne na downlinku.
- (2) Mobilni terminali koji obezbeđuju 8-PSK modulaciju i na uplinku i na downlinku.

REZIME:

- ◆ Koristi 8-PSK modulacioni postupak
- ◆ Omogućava brzine prenosa podataka do 384 Kb/s
- ◆ Predstavlja prelaz ka 3G sistemima i širokopojasnim uslugama
- ◆ Koristi više kodnih šema
- ◆ Nalanja se na arhitekturu GPRS-a
- ◆ Promene (dopune) su uglavnom u radio - delu (BS i BSC) i terminalima
- ◆ Ćelije sa dva tipa primopredajnika (GSM i EDGE)
- ◆ Postoje četiri tipa kanala
- ◆ Potrebno je izvesno replaniranje ćelija i frekvencija

7. SISTEMI TREĆE GENERACIJE

1.UVOD

Mobilni sistemi treće generacije trenutno predstavljaju jednu od ključnih telekomunikacionih tehnologija u pogledu istraživanja, razvoja i internacionalne standardizacije.

IMT-2000 je termin koji koristi ITU za skup standarda koji su usvojeni na globalnom (svetskom) nivou. Radi se o standardima za 3. generaciju mobilnih sistema, koji treba da objedine različite kopljene, satelitske, fiksne i mobilne sisteme koji su trenutno u upotrebi ili u procesu razvoja.

ITU je za IMT-2000 dodelio sledeće frekvencijske opsege: **1.885-2.025 GHz i 2.110-2.200 GHz.**

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) je implementacija svetskog koncepta IMT-2000 u Evropi.

Sistemi 3. generacije treba da obezbede bežični pristup globalnoj telekomunikacionoj infrastrukturi i da omoguće širok spektar integrisanih servisa govora, podataka, slike i video sadržaja. Ovi sistemi će integrisati trenutno odvojene svetove mobilnih i fiksnih servisa u moćno sredstvo za neograničenu multimedijalnu komunikaciju.

3G sistemi treba da udovolje zahtevima korisnika za:

- većim kapacitetom sistema,
- većom brzinom prenosa podataka,
- širokopojasnošću i multimedijalnošću
- mogućnošću personalne komunikacije bilo koje vrste, u bilo koje vreme i sa bilo kojeg mesta,
- terminalom koji će podržavati sve potrebne usluge. To zapravo mora biti personalni komunikator, koji će funkcionisati kao : telefon, kompjuter, televizor, pejdžer, video konferencijski centar, pisani medijum, čak i kao kreditna kartica

UMTS će imati i zemaljske i satelitske komponente koje će omogućavati pristup servisima u veoma širokom opsegu radio okruženja od megaćelija (satelit), preko makro, mini, mikro do pikoćelija. Posledica ovoga je da UMTS mora da ponudi univerzalnu pokrivenost; tj. mora da ima kapacitet za povezivanje velikih geografskih područja (minimalno područje je npr. Evropa, a potencijalno ceo svet). Univerzalnost takođe ukazuje na dostupnost UMTS servisa u različitim okruženjima (ruralno, urbano, poslovni prostor itd.). Prema tome, u ovim budućim komunikacionim sistemima, terminal mora automatski da prilagodi svoje tehničke karakteristike (uključujući brzinu prenosa, tip modulacije i snagu) prema zatečenim uslovima prostiranja u različitim radnim scenarijima i prema zahtevanom servisu.

Osnovni ciljevi koji se postavljaju pred 3G sisteme su:

- Globalni roming kroz različite mobilne mreže (kompatibilnost sa postojećim mrežama)
- Velika brzina prenosa podataka i to: 144 kb/s ili 384 kb/s za brže ili sporije *outdoor* korisnike i 2 Mb/s za *indoor* mobilne korisnike. Prenos podataka kroz mobilne 3G mreže treba biti barem jednak mogućnostima koje pružaju fiksne mreže.
- Mogućnost da se podrži brza veza sa Internetom i IP (*Internet Protocol*) mrežama. Takodje i mogućnost da se podrži kako simetričan, tako i asimetričan prenos kod aplikacija kao što je Internet i multimedijalne komunikacije
- Obezbeđivanje visokog nivoa sigurnosti pri prenosu informacija
- Otvorena arhitektura koja će omogućiti lako uvođenje daljih tehnoloških inovacija i kompatibilnost opreme.

Uvođenje UMTS suočava se sa važnim izazovom zbog postojanja GSM mreže sa velikim pokrivanjem i kapacitetom i sa jeftinim terminalima, i sa mogućnošću nadgradnje u smislu prethodnog uvodjenja HSCSD, GPRS i EDGE tehnologije. To je razlog zbog koga se razvoj UMTS mora izvesti

progresivno, korišćenjem, u prvoj fazi, jezgra postojeće GSM mreže što je više moguće, uz modifikacije koje ne zahtevaju velike investicije operatera. Verovatno će početne tačke u razvoju UMTS biti one oblasti gde je došlo do zasićenja GSM mreže, i gde se traže napredni servisi sa velikim brzinama prenosa podataka, koje GSM ne može da obezbedi. Ovaj razvoj će biti olakšan ako bude omogućen "glatki" prelaz izmedju GSM i UMTS servisa, i ako su na raspolaganju GSM/UMTS terminali sa dual modom.

Kao posledica ovoga, UMTS će biti izgrađen na GSM strukturi korišćenjem MAP mrežnog protokola, pa će tako podržavati GSM strukturu, obezbeđujući na taj način postepenu nadogradnju GSM i kompatibilnost sa prethodnim verzijama. Isplativa evolucija zahteva zadržavanje što je moguće većeg dela osnovne mreže. Terminali sa više modova će obezbediti pristup pogodan za korisnike.

2. RADIO INTERFEJS I ARHITEKTURA

Radio interfejs koji je predviđen za korišćenje kod UMTS nazvan je UTRA, a odgovarajuća mreža UTRAN. On se projektuje da omogući kako radni mod "dupleks sa vremenskom raspodelom" (TDD), tako i radni mod "dupleks sa frekvencijskom raspodelom" (FDD).

UMTS zemaljski radio interfejs bi trebalo da podržava veći opseg maksimalnih korisničkih bitskih brzina, u skladu sa trenutnim okruženjem korisnika, na sledeći način:

1. Seosko područje, otvoreni prostor, dostupnost na celom servisnom području operatera, sa mogućnošću korišćenja velikih ćelija: **minimum 144 kb/s, sa mogućnošću postizanja 384 kb/s**, i to pri maksimalnoj brzini mobilnog korisnika od **500 km/h**.

2. Prigradsko područje, otvoreni prostor, kompletna pokrivenost prigradskog ili gradskog područja, sa korišćenjem manjih makroćelija, ili mikroćelija, **minimum 384 kb/s** (cilj je postizanje **512 kb/s**) pri maksimalnoj brzini od **120 km/h**.

3. Zatvoreni prostor/manja rastojanja na otvorenom, dostupnost u zatvorenom prostoru i lokalizovana pokrivenost na otvorenom, **minimum 2 Mb/s**, pri maksimalnoj brzini od **10 km/h**.

Za sisteme treće generacije u Evropi izabrana je **WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)** tehnologija. Ova tehnologija omogućava širokopojasni digitalni radio-prenos Internet, multimedijalnih, video i ostalih aplikacija. Suština je da se sadržaj (glas, slike, podaci ili video zapis) najpre konvertuje u uskopojasni digitalni radio signal, a zatim mu se dodeljuje kod koji će ga razlikovati od signala drugih korisnika.

Arhitekturu UMTS sistema čine dva osnovna segmenta:

- pristupna mreža, nazvana UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*)
- osnovna (*core*) mreža (komutaciona i ruting infrastruktura).

Postoje dva mrežna domena :

- kanalno komutirani domen , u čijem je središtu MSC,
- paketsko komutirani domen, kome su središta GGSN i SGSN

Ova dva domena su, prema tome, zasnovana na dve razdvojene i paralelne osnovne (backbone) mreže :

- prva backbone mreža je bazirana na ISDN-u i u osnovi izvedena je iz saobraćaja koji se odnosi na gorovne informacije
- druga osnovna mreža je bazirana na tehnologijama koje potiču od IP-a i saobraćaja podataka.

Obe mreže su vezane na pristupnu mrežu odgovarajućim interfejsima.

Ovde je još potrebno istaći :

- kanalno komutirani dio mreže UMTS-a je direktno proizašao iz standardne GSM mrežne infrastrukture,
- deo UMTS-a za paketsku komutaciju je proizašao iz infrastrukture upotrebljene za uvodjenje GPRS-a u GSM mrežu.

3. UMTS MOBILNI TERMINALI

Mobilni terminali rane treće generacije će biti dual-modni (multimodni). To znači da će moži pristupati sistemima 2G i koristiti postojeće usluge kao i novije usluge koje će biti dostupne samo kod operatora koji su nadogradili svoje mreže tj. uveli UMTS sistem.

Mobilni terminali 3G-a sa WCDMA tehnologijom svrstavaće se u jednu od sledeće tri klase, prema brzinama prenosa koje podržavaju:

- mobilni terminali prve klase (brzina prenosa do 144 kbit/s)
- mobilni terminali druge klase (brzina prenosa do 384 kbit/s)
- mobilni terminali treće klase (brzina prenosa do 2,048 Mbit/s).

4. POVEZIVANJE ZEMALJSKIH I SATELITSKIH SISTEMA

Zemaljske i satelitske mobilne komunikacije su koncipirane i razvijane kao medjusobno nezavisni sistemi. Medutim, zbog korisničkih zahtijeva za maksimalnom mobilnošću i globalnim romingom, već sredinom devedesetih su uobičeni koncepti povezivanja zemaljskih i satelitskih sistema.

Povezivanje zemaljskih i satelitskih sistema moguće je uraditi na više nivoa:

- geografsko povezivanje (koje podrazumeva komplementarnost),
- povezivanje uslugama (koje podrazumeva kompatibilnost),
- mrežno povezivanje,
- povezivanje opremom,
- sistemsko povezivanje (potpuna integracija sistema)

U skoroj budućnosti će neminovno doći do potrebe povezivanja svih postojećih i budućih mobilnih i bežičnih komunikacija u jedinstven sistem, koji će, naravno, uključivati i satelitsku komponentu, za postizanje globalnog rominga i optimizacije korišćenja radio resursa.

5. TRENOVI DALJEG RAZVOJA

Sledeći korak u razvoju mobilnih sistema nakon 3. generacije biće pojava 4. generacije mobilnih sistema. Razvoj i standardizacija ovih sistema trebalo bi da se odvijaju u narednim godinama. Predviđanja su sledeća:

- na radio delu sistema bi trebalo da podrži brzine prenosa podataka do 20 Mb/s,
- koristiće se više frekvencije, od 3 do 8 GHz,
- redukovaće se veličina celija,
- razviće se odgovarajući minijaturni terminali.

Treba reći da se već u ovoj fazi pojavljuju razmišljanja i ideje o 5G sistemima.

8. KONVERGENCIJA FIKSNIH I MOBILNIH TELEKOMUNIKACIJA

Fiksno-mobilna konvergencija predstavlja evoluciju današnjeg heterogenog komunikacionog sveta koji se sastoji od mnoštva fiksnih mreža, celularnih mreža, bežičnih sistema, mreža za prenos podataka itd., ka integrisanim i personalizovanim telekomunikacijama. FMC se može opisati kao integracija mrežnih i servisnih kapaciteta koja omogućava korisniku da pristupa setu servisa nezavisno od terminala i pristupne tačke, korišćenjem bilo fiksnih bilo uz posedovanje samo jednog personalnog broja i jedinstvenog računa.

Prednosti FMC sa aspekta korisnika su:

- Zajednički broj za mobilni i fiksni priključak
- Jedinstveni račun za sve servise
- Jedan servisni provajder za sve telekomunikacione potrebe, fiksne i mobilne
- Transparentna kontrola komunikacionih troškova proverom korisničkog računa
- Širok opseg pouzdanih i pristupačnih FMC servisa i servisnih paketa, kao što su servisi prilagođeni porodici, prepaid servisi, prilagodljivi servisni paketi, *Small Office/ Home Office* (SOHO) paketi, *Small/ Medium Enterprise* (SME) paketi za zabavu, *Unified Messaging* prenos poruka.

Korisnici će moći da biraju korisnički profil po želji i da personalizuju željene servise.

8.1 Numeracija

Posedovanje samo jednog personalnog broja predstavlja jedan od najatraktivnijih fiksno-mobilnih servisa. Koncept personalnog broja povezuje telefonski broj direktno za osobu umesto za terminal. Sa korisnikom se može ostvariti veza nezavisno od njegove lokacije i od toga da li koristi fiksni ili mobilni terminal.

Specijalno za poslovne primene mogu se razviti "virtualne privatne mreže" (VPN - *Virtual Private Network*), integracijom fiksnih i mobilnih korisnika u jedinstveni privatni plan numerisanja. VPN servis se već primenjuje u fiksnim i mobilnim mrežama, uglavnom zasnovan na arhitekturi inteligentnih mreža (IN - *Intelligent Network*).

Dalje, vrlo je bitna prenosivost broja kao izraz želje korisnika da zadrže svoj telefonski broj kada menjaju tip servisa ili operatera.

8.2 Terminali

Veliki izazov koji se postavlja u oblasti konvergencije i jedan od ključnih faktora za pridobijanje korisnika je ručni terminal. Danas, dok su u mobilnom sektoru korisnici zasuti različitim tipovima mobilnih aparata, korisnički interfejs za FMC još uvek je u fazi razvoja.

Fiksno-mobilni servisi zahtevaju terminale koji su laki za korišćenje i primenljivi u raznim mrežama. Već je, na primer, razvijen terminal za sistem koji kombinuje GSM i CTS (*Cordless Telephone System*). Dok se korisnik nalazi kod kuće mobilni telefon radi u bežičnom modu i priključen je na PSTN mrežu, a dok je u pokretu vezan je za GSM mrežu.

Osnovni trend u budućnosti biće potpuna zamena klasičnih fiksnih linija mobilnim uredajima jednostavnim za korisnika. Preduslovi za taj scenario biće dobra pokrivenost unutar zatvorenih prostora, veliki frekvencijski opseg i tarife poredive sa tarifama fiksnih mreža. U suštini, prosečnog korisnika malo interesuje da zna detalje najnovijih tehnoloških dostignuća. Umesto toga on želi da ima set servisa koje će moći jednostavno da bira i kontroliše i koji će predstavljati njegov sopstveni izbor a ne nametani od provajdera. Kritični faktor u budućoj evoluciji dakle predstavlja prilagodljivi terminal koji će biti jednostavan za korišćenje.

8.3 Tarifiranje

Kritičan faktor za uspeh bilo kog telekomunikacionog servisa je cena korišćenja. Fiksno-mobilni servisi zahtevaju tarifiranje prilagodjeno korisnicima, na primer:

- redukovanje tarife zavisno od aktuelne lokacije korisnika (cene zavisne od rastojanja za mobilne korisnike, poredive sa odgovarajućim iznosima kod fiksnih mreža).
- definisanje zona namenjenih pretežno stanovanju i zona koje obuhvataju poslovni deo grada,
- popuste za veći obim usluga, odvajanje poslovnih od privatnih tarifa,

8.4 Harmonizacija servisa

Harmonizacija servisa obezbeđuje realnu korist za korisnike koji koji obično koriste različite vrste mobilnih i fiksnih komunikacionih servisa. Ona obezbeđuje mogućnost da se poseduje isti profil servisa nezavisno od korišćenog terminala, isto rukovanje i mogućnost kontrole i prilagodjavanja servisnog profila prema korisnikovim potrebama, nezavisno od lokacije.

Promene u društvu i tehnološki razvoj otvorile tržište za nove servise koji daleko prevazilaze one koji su već opisani. Očekuje se, na primer, da porastu zahtevi za kućnim servisima zabave i pribavljanja informacija preko Interneta. U celini se kod stanovništva očekuje rastuće korišćenje usvajanje informacionih tehnologija bilo na poslu bilo kod kuće. Ovo se odnosi naročito na mladu populaciju. Dalje, povećanje vremena koje korisnik provodi na putu i potreba za što boljim korišćenjem vremena dovode do zahteva za udaljenim pristupom servisima informacija, kao i zabave. Društveni i tehnološki trendovi otvaraju nove tržišne segmente za mobilne operatere kao što su na primer servisi tipa: telebankarstvo, telešoping, "mobilne kancelarije" i videokonferencije isl. Ovi servisi indiciraju punu konvergenciju fiksnih servisa ka mobilnom svetu.

8.5 Trendovi

Bez sumnje, postoji veliki tržišni potencijal za fiksno-mobilne servise. Međutim, kao i uvek kada se radi o pojavljivanju nečega novog ipak postoje brojne neizvesnosti i nepoznanice. Veliki izazov predstavlja rešenje problema ogromnog nasledja različitih telekomunikacionih tehnologija i mreža, kao i objedinjavanje servisa koje bi bilo orijentisano pojedinačnom korisniku. Organizaciono i tehnološko nasleđe postojećih nacionalnih PTT organizacija predstavlja u izvesnoj meri otežavajući faktor objedinjavanju fiksnih i mobilnih servisa. Telekomunikacione kompanije za fiksne servise koncentrisale su se uglavnom na govorni saobraćaj preko žičanih veza i tu ostvaruju zadovoljavajući profit. S druge strane, uslovi konkurenциje na tržištu imaju povoljan efekat jer novi operateri brže osvajaju napredna tehnološka rešenja i kreću ka rešavanju pitanja medjupovezivanja i integrisanja.