

Primena mikrotalasa u sistemima za mobilne komunikacije

B. Jokanović, N. Popović, V. Napijalo, S. Jovanović
Institut IMTEL, Bulevar Lenjina 165b, Beograd

Uvod

U celom svetu je došlo do značajnog razvoja javne kablovske mreže, koja je u stanju da obezbiđe pouzdan prenos govora zadovoljavajućeg kvaliteta i prenos podataka malim brzinama prenosa. Za razliku od fiksne telefonske mreže, cilj bežičnih komunikacija je da omoguće korisnicima fleksibilan pristup u globalnu komunikacionu mrežu, u bilo koje vreme, bez obzira na lokaciju na kojoj se nalazi korisnik i bez obzira na njegovu mobilnost. Iako su celularna i bežična telefonija doživele veoma brz razvoj u poslednjih deset godina, u svetu još uvek ne postoji globalna bežična komunikaciona mreža. Postojeći cellularni sistemi su ograničeni na prenos govora i prenos podataka malim brzinama prenosa u zonama koje su pokrivenе baznim stanicama. Bežični telefoni omogućavaju bežičnu vezu korisnika sa javnom telefonskom mrežom, na rastojanjima od 50m do 100m od korisnikove bazne stanice. Zahvaljujući bežičnim komunikacijama u svetu je u toku revolucionarna promena komunikacionih usluga i načina na koji su ljudi do sada navikli da ih koriste.

Opseg učestanosti predviđen najnovijim standardima za bežične komunikacije je takav, da u ovoj oblasti radi sve veći broj mikrotalasnih inženjera, koji su ranije bili angažovani na vojnim projektima. Oblast bežičnih komunikacija postaje sve više oblast glavne primene mikrotalasne tehnike, jer se danas i personalni telefonski uredjaji (handset) mogu tretirati kao mikrotalasni primopredajnici s obzirom da rade iznad 1 GHz.

Mikrotalasni i milimetarski linkovi koji se koriste za prenos digitalnih signala malog i srednjeg kapaciteta dobijaju razvojem mobilne telefonije i personalnih komunikacionih mreža izuzetan značaj. Pored opsega 23 GHz koji je predviđen za linkove koji pokrivaju rastojanja do 20 km, u svetu se sve više koriste i linkovi koji rade na 38 GHz, 55 GHz i 58 GHz, koji su predviđeni za rastojanja ispod 10 km.

Razvoj mikrotalasne tehnologije u narednom periodu u direktnoj je funkciji zahteva koji proizilaze iz razvoja sistema za bežične komunikacije. Osnovni problemi koje mikrotalasni inženjeri treba da rešavaju vezani su za razvoj mikrotalasnih primopredajnika malih dimenzija i male potrošnje, koji su pogodni za masovnu proizvodnju.

U ovom radu će biti dat pregled postojećeg stanja u bežičnim komunikacijama sa posebnim osvrtom na razvoj celularne mobilne telefonije, bežične telefonije i satelitskih sistema za mobilne komunikacije. Drugi deo rada je posvećen milimetarskim point-to-point linkovima koji predstavljaju kičmu bežične komunikacione mreže.

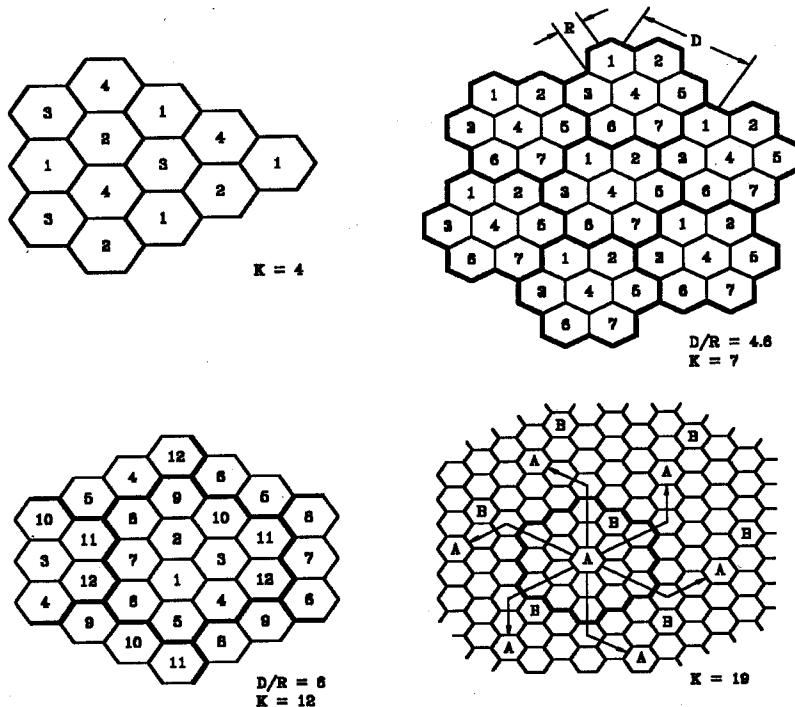
I Pregled najvažnijih bežičnih komunikacionih sistema

1. Cellularni sistemi

Za razliku od konvencionalnih mobilnih sistema koji imaju zone pokrivanja reda 50 do 100 km, cellularni sistem se sastoji od većeg broja baznih stanica čija je zona pokrivanja do 10 km. Pored toga, kod cellularnih sistema se jedna učestanost simultano koristi u više

baznih stanica i na ovaj način se povećava gustina korisnika po 1 MHz spektra u odnosu na ranije sisteme. Pogodnim rasporedom ćelija čije bazne

celularne mreže na prelazu iz zone jedne bazne stanice u zonu druge bazne stanice. Na Slici 2 je prikazan handoff mehanizam koji predstavlja najvažniju



Slika 1. Načini formiranja mobilne celularne mreže u zavisnosti od broja učestanosti (K) u makroćeliji [1]

stanice rade na istoj učestanosti može se postići smanjenje interferencije izmedju kanala. Na slici 1 je prikazano nekoliko načina izgradnje mobilne ćelijske mreze korišćenjem različitog broja učestanosti u makroćeliji i različitog prostornog rastojanja izmedju elementarnih ćelija koje koriste istu učestanost. Kapacitet celularnog sistema se dalje može povećati smanjenjem veličine ćelija do 0.5 km tako da se mogu koristiti mali prenosni aparati (handset) koji rade na baterije i koji emituju male RF snage.

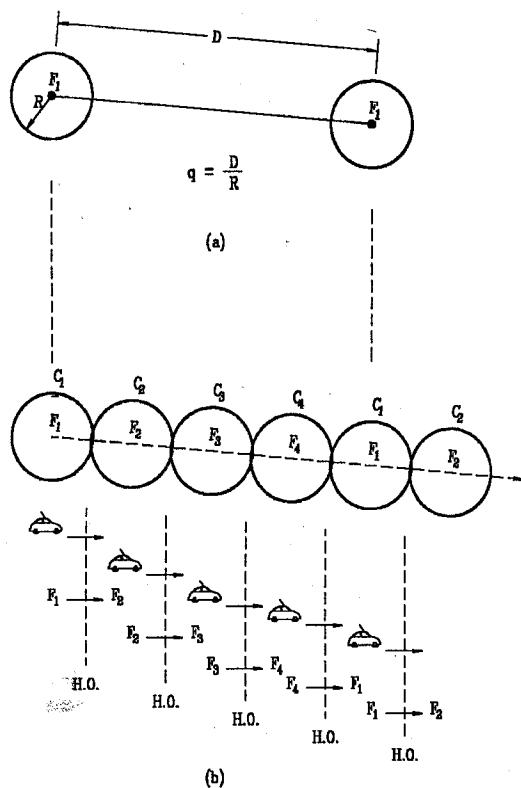
Važna karakteristika celularnih sistema je da omogućavaju kontinualni transfer poziva od jedne do druge bazne stanice (handoff) na taj način što mobilni korisnik menja radnu frekvenciju pod kontrolom

prednost celularnog mobilnog sistema u odnosu na konvencionalni.

1.1. Analogni celularni sistemi

Prva generacija celularnih sistema pod nazivom AMPS - Advanced Mobile Phone Service razvijena je u Sjedinjenim Američkim Državama. Ovi sistemi se baziraju na primeni analogne frekvencijske modulacije za prenos govora dok se FSK modulacija koristi za signalizaciju. Individualni pozivi se obavljaju na različitim učestanostima tako da je u primopredaji primenjen frekvencijski multipleks (FDMA). U Sjedinjenim Američkim Državama je za celularni

mobilni radio dodeljeno 50 MHz u opsežima 824-849 MHz i 869-894 MHz. Prema AMPS standardu, ovaj opseg je podeljen na 832 kanala čija je širina 30 kHz. AMPS je u SAD u upotrebi od 1983. godine i ima oko 20 miliona korisnika. Takodje je u upotrebi u Kanadi, Centralnoj i Južnoj Americi i Australiji.



Slika 2. Kontinualni transfer poziva ili handoff mehanizam

U Evropi se koristi nekoliko sistema prve generacije koji su slični sistemu AMPS i to su: Total Access Communication System (TACS) koji se koristi u Velikoj Britaniji, Italiji, Španiji, Irskoj, zatim Nordic Mobile Telephone (NMT) u više zemalja, C-450 u Nemačkoj i Portugaliji i Radio Telephone Mobile System (RTMS) u Italiji. Svi ovi sistemi imaju širinu kanala 25 kHz a odluka o promena radne učestanosti se donosi na osnovu primljenog nivoa snage na mestu baznih stanica koje su u blizini mobilnog korisnika.

Ukupan broj preplatnika za ove sisteme u Evropi je oko 8 miliona, s tim što su najpopularniji sistemi TACS i NMT.

U Japanu je prvi analogni celularni sistem (NTT) počeo da radi 1979. godine u centru Tokija. Mobilni predajnici rade u opsegu od 925-940 MHz, a predajnici baznih stаница су locirani u opsegu 870-885 MHz. U ovom opsegu je najpre bilo 600 dupleks kanala čija je širina 25 kHz, da bi počev od 1988. godine broj kanala bio povećan četiri puta smanjenjem razmaka izmedju kanala na 6.25 kHz. Trenutno u Japanu ima oko 2.6 miliona korisnika analognog celularnog sistema.

U Tabeli 1 dat je pregled osnovnih karakteristika analognih celularnih sistema u svetu

1.2. Digitalni celularni sistemi

Razvoj tehnike digitalnog kodovanja govora kao i stalno povećanje gustine pakovanja integrisanih kola, omogućili su da druga generacija celularnih sistema bude kompletno digitalna. Kao alternativu FDMA, digitalni sistemi koriste vremenski multipleks (TDMA) i kodni multipleks koji obezbeđuju veću gustinu korisnika po 1 MHz spektra. Primenom TDMA svaki kanal se deli na određeni broj vremenskih podintervala, tako da u svakom trenutku korisnik ima na raspolaganju definisanu učestanost na kojoj radi u datom podintervalu. Sa primenom CDMA moguće je korišćenje istog frekvencijskog kanala od strane više različitih korisnika iz iste ćelije, jer se primenjuje tehnika proširenog spektra.

Digitalni celularni sistemi imaju niz prednosti u odnosu na analogne sisteme kao što su:

1. Prirodnije povezivanje sa postojećom digitalnom kablovskom mrežom,

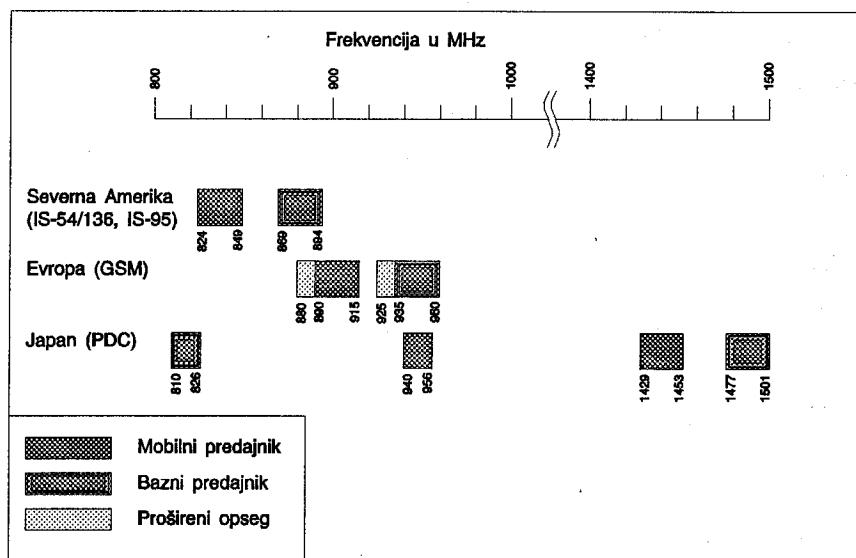
2. Feksibilnost u prenosu govora i podataka kao i u uvodjenju novih servisa,
3. Potencijalna mogućnost povećanja kapaciteta smanjenjem brzine kodovanja govora,
4. Smanjenje nivoa predajne RF snage odnosno

- produženje veka trajanja baterija,
5. Kripto zaštita poruka zbog zaštite privatnosti poziva.

Na slici 3 prikazan je frekvencijski plan određen za digitalne celularne sisteme u svetu.

Tabela 1. Pregled analognih celularnih sistema

Standard	Tx mobilni korisnik/Tx bazna stanica (MHz)	Razmak kanala(kHz)	Broj kanala	Region
AMPS	824-849/869-894	30	832	Amerika
TACS	890-915/935-960	25	1000	Evropa
ETACS	872-905/917-950	25	1240	Velika Britanija
NMT 450	453-457/463-467.5	25	180	Evropa
NMT 900	890-915/935-960	12.5	1999	Evropa
C-450	450-455.74/460-465.74	10	573	Nemačka, Portugalija
RTMS	450-455/460-465	25	200	Italija
Radiocom 2000	192.5-199.5/200.5-207.5 215.5-233.5/207.5-215.5 162.2-168.4/169.8-173 414.8-418/424.8-428	12.5	560 640 256 256	Francuska
NTT	925-940/870-885 915-918.5/860-863.5 922-925/867-870	25/6.25 6.25 6.25	600/2400 560 480	Japan
JTACS/ NTACS	915-925/860-870 898-901/843-846 918-922/863.5-867	25/12.5 25/12.5 12.5	400/800 120/240 280	Japan



Slika 3. Frekvencijski plan za digitalne celularne sisteme

1.3. Pan-evropski GSM sistem i DCS 1800

Da bi se prevazišao problem postojanja velikog broja analognih celularnih sistema u Evropi, radna grupa CEPT-a (Groupe Special Mobile) je predložila Global System for Mobile Communications (GSM) kao drugu generaciju celularnih sistema. Ovaj sistem je digitalan i treba da omogući pan-evropski "roaming", prenos podataka za fax, e-mail, fajlove kao i da obezbedi jednostavnu i jeftinu nadgradnju servisa za koje se vremenom ukaže potreba.

GSM koristi TDMA tehniku sa osam vremenskih podopsega po kanalu, tako da svaki korisnik vrši periodično transmisiju čije je trajanje 0.57 ms, po svih osam podopsega i prijem u odgovarajućem podopseg. U intervalima izmedju prijema i predaje vrši se merenje nivoa polja koje potiče od susednih baznih stanica i prenos podataka ka lokalnoj baznoj satanici, tako da nije potreban dodatni hardver za odlučivanje koja bazna stanica preuzima mobilnog korisnika (handover decision) kao u slučaju FDMA multiplexa.

Orginalno su GSM sistemi predviđeni da rade u opsegu oko 900 MHz, međutim 1989. godine UK Department of Trade and Industry je pokrenuo inicijativu koja je i usvojena da se opseg od 150 MHz blizu 1.8 GHz označi kao opseg za Personal Communication Networks (PCN) i da GSM bude standard za takve mreže. Ovaj sistem je dobio naziv Digital Cellular System 1800 (DCS1800).

Od 1993. godine kada je počela primena, do novembra 1994. godine, GSM je doživeo ogromnu ekspanziju i samo u Evropi sistem ima dva miliona korisnika. Do sada je primjenjen u 26 evropskih i isto toliko van evropskih zemalja. U Velikoj Britaniji i Nemačkoj je počela primena DCS1800 sistema. Iako za sada nije obezbedjeno potpuno pokrivanje teritorije

jedne zemlje, očekuje se da i ovaj sistem ima isti uspeh kao GSM.

1.4. IS-54 u Severnoj Americi

Za razliku od evropskog digitalnog celularnog sistema, u Americi je usvojen standard IS-54 kao odgovor na sve veći broj korisnika celularnog sistema u gusto naseljenim oblastima.

Ovaj standard je tako definisan da bude delimično kompatibilan sa već postojećim analognim AMPS sistemom. IS-54 koristi isto rastojanje kanala kao AMPS sistem, pri čemu je svaki kanal podeljen na 6 vremenskih podopsega, tako da svaki frekvencijski par mogu u isto vreme da koriste 3 korisnika. Primenom dvostruko manje bitske brzine za prenos govora, kapacitet po kanalu može da se uveća na šest korisnika.

IS-54 standard je "dual mode", što znači da uređaji mogu da rade u analognom i digitalnom režimu, što je izuzetno važno, jer je na taj način obezbedjen "roaming" za veliki broj korisnika analognog sistema. Dok je inicijalna verzija IS-54 koristila isti način signalizacije po kanalu kao kod AMPS sistema, standard IS-136 uvodi digitalnu kanalsku signalizaciju koristeći modem od 48.6 kb/s i nudi još niz prednosti kao što je hijerarhijska kontrola ćelije, grupno adresiranje, privatne grupe korisnika i point to point messaging.

Sistemi koji rade po ovom standardu su već primjenjeni u SAD u gusto naseljenim gradskim područjima.

1.5. IS-95 u Severnoj Americi

Ovaj standard se bazira na primeni CDMA multipleksa koji omogućava dalje povećanje broja

korisnika po kanalu uz značajno povećanje kompleksnosti uredjaja. Ovaj standard predviđa korišćenje tehnike proširenog spektra tako što se jedan način kodovanja primenjuje za pravac bazna stanica korisnik a drugi način kodovanja u inverznom smeru. Svaki korisnik u jednoj ćeliji ima na raspolaganju durugačiju sekvencu za kodovanje.

IS-95 standard nudi brojna poboljšanja uključujući povećanje kapaciteta, fleksibilnost u primeni različitih brzina prenosa kao i eliminisanje potrebe za planiranjem frekvencija u okviru jedne ćelije. Promenljiva brzina kodovanja, kontrola snage, smanjenje marge za feding i direktna korekcija greške, doprinose da se smanjuje potrebna RF snaga. Ovaj standard takođe omogućava dvostruki način rada, u AMPS modu i u CDMA modu. Primena mobilnih celularnih sistema razvijenih prema standardu IS-95 očekuje se ove godine u Los Angeles-u.

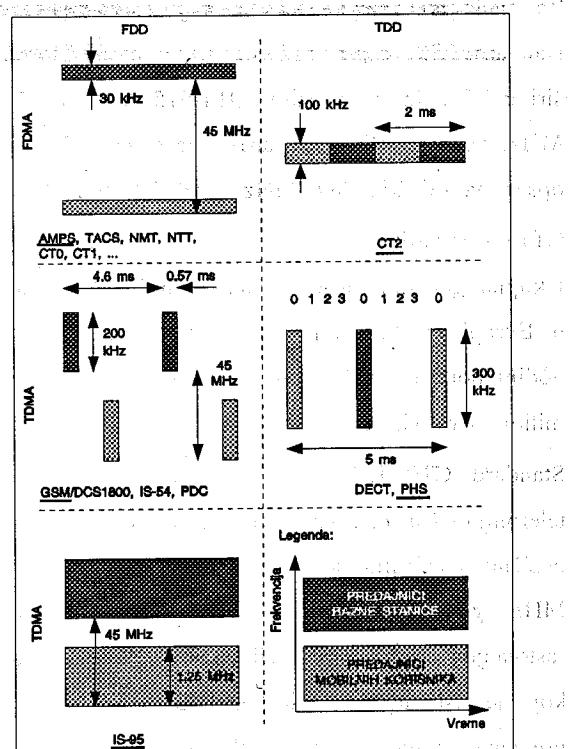
1.6. Zaključak

Osnovna karakteristika digitalnih celularnih sistema je visoka cena bazne stanice tj. visoka cena po jednoj ćeliji koja je reda 1 milion dolara. U daljem razvoju digitalnog celularnog sistema, pored zahteva da se maksimalno poveća broj korisnika po 1 MHz spektra, postojaće i zahtev da se poveća broj korisnika po jednoj ćeliji. Da bi se to ostvarilo ide se na povećanje predajne snage i na kompleksnije tehnologije koje omogućavaju racionalnije korišćenje raspoloživog spektra kao što je to definisano standardom IS-95.

Jedan od daljih pravaca razvoja celularnog sistema je i korišćenje mikro i piko ćelija u gusto naseljenim zonama čime bi se povećao kapacitet i ostvarilo bolje pokrivanje oblasti koje su u senci. Mikro i piko ćelije se realizuju sa baznim stanicama male snage tako da je i njihova cena manja, a i vek trajanja baterija kod korisničkih aparata se povećava.

U ovom trenutku korisnici digitalnih celularnih sistema se suočavaju sa problemima ograničene dužine razgovora, sa visokom cenom usluga i visokom cenom telefonskog aparata, a problem je i relativno velika težina baterija kao i postojanje zona u kojima je prijem loš, naročito u zgradama. Takodje, tendencija da se poveća broj korisnika tako što se govor prenosi malom bitskom brzinom, manjom od 13 kb/s, ima za posledicu degradaciju kvaliteta prenosa. U slučaju kada se dekodovanje govornog signala vrši u različitim sistemima na primer sa jedne strane je IS-54 telefon a sa druge GSM ili IS-95, ta degradacija kvaliteta je značajna. Ovo može da bude veliki problem u zonama gde postoji mogućnost da se umesto mobilnog telefona koristi bežični, koji obezbeđuje sasvim dobar kvalitet govornog signala.

Na slici 4 je dat pregled tehnika multipleksiranja kao i tehnika dipleksiranja koje se koriste za razdvajanje prijemnog i predajnog signala kod sistema za bežični prenos.



Slika 4. Pregled tehnika multipleksiranja i tehnika dipleksiranja u sistemima za bežični prenos

2. Bežična telefonija

2.1. Pregled sistema

Pod bežičnom telefonijom se podrazumeva bežični prenos govora na malom rastojanju izmedju malo pokretljivih korisnika.

Analogni bežični telefoni su se pojavili ranih 70.-ih godina u SAD i doživeli su neverovatan uspeh na tržištu. Procenjuje se da ima u upotrebi oko 60 miliona ovih telefona i da je godišnja prodaja reda 15 miliona komada samo u SAD. Od 1984. godine za bežične telefone je određeno deset učestanosti u opsegu od 46.6 MHz do 47 MHz (bazna predaja) i u opsegu od 49.6 MHz do 50 MHz (inverzna predaja), pri čemu je efektivna izračena snaga reda 20 µW.

Iako su se na tržištu pojavili digitalni bežični telefoni veće snage koji rade na oko 900 MHz, očekuje se da će analogni telefoni i dalje imati kupce zbog niske cene koja je reda 50 do 100 dolara.

Za analognu bežičnu telefoniju je u Evropi uveden standard CT1 kojim je dodeljeno 40 dupleks kanala širine 25 kHz u opsezima 914-915 MHz i 959-960 MHz, dok je daljih 80 parova učestanosti locirano u opsezima od 885-887 MHz i od 930-932 MHz po CT1+ standardu.

Ukupna godišnja prodaja analognih bežičnih telefona u Evropi je 2.2 miliona i očekuje se da u 1996. godini poraste na 2.7 miliona. U upotrebi je oko 5.4 miliona ovakvih aparata.

Standard CT2 [2] se odnosi na digitalnu bežičnu telefoniju. Na osnovu ovog standarda, za digitalnu bežičnu telefoniju je određen spektar od 864-868 MHz, gde je locirano 40 FDMA kanala čije je rastojanje 100 kHz, za razliku od CT1 standarda kod koga je rastojanje izmedju kanala 50 kHz. Maksimalna predajna snaga je 10 mW, pri čemu je uvedena dvonivoska kontrola snage što olakšava višestruko

korišćenje frekvencija. Standard CT2 omogućava i prenos podataka čija brzina ne prelazi 2.4 kb/s kao i Telepoint usluge koje se odnose na mrežu javnih bežičnih telefonskih govornica, koje su locirane na ulicama, železničkim stanicama ili poslovnim centrima. Registrovani korisnik sa CT2 aparatom može da telefonira ukoliko je u zoni Telepoint-a. Ovaj standard ne obezbeđuje aktivni prenos poziva u slučaju da korisnik predje iz zone jednog Telepointa u drugu zonu. CT2+ tehnologija unekoliko prevazilazi ovaj problem, jer omogućava ograničen transver poziva izmedju različitih baznih jedinica. Da bi se poboljšale usluge u CT2 aparate se često ugradjuju konvencionalni pejdžeri.

Digitalna bežična telefonija nije svuda u svetu naišla na dobar prijem. Velika Britanija je primer neuspelog korišćenja Telepoint sistema, dok je ovaj isti sistem naišao na veliku popularnost u Hong Kongu i Singapuru gde je sredinom 1994. godine bilo 150 hiljada korisnika. Razlog za to leži najverovatnije u kompaktnosti Singapura i Hong Konga gde populacija može da telefonira uz korišćenje svega nekoliko baznih jedinica (govornica).

Korisnici Telepoint sistema se sreću sa problemima neadekvatnog pokrivanja cele zone kao i sa tim da uvek nisu u stanju da odrede da li su u zoni Telepointa ili ne. Pored toga, u slučaju CT2 aparata, nepostojanje handoff-a je veliki problem.

Najnoviji evropski standard koji se odnosi na bežičnu telefoniju je DECT (Digital European Cordless Telephone) koji je optimizovan za korišćenje unutar zgrada i koji je projektovan da obezbedi jeftinu i fleksibilnu komunikaciju u gusto naseljenim piko čelijama. DECT obezbeđuje handoff, registraciju lokacije i pejdžing.

Bazne jedinice u DECT sistemu su vezane na kućnu telefonsku centralu preko kontrolera. DECT kontroleri

obezbedjuju aktivan handoff od jedne do druge bazne jedinice. Generalno, DECT predstavlja veliki pomak u korišćenju bežičnih telefona u zoni i van zone Telepoint-a i funkcionalno je bliži celularnom sistemu u piko ćelijama nego klasičnoj bežičnoj telefoniji.

DECT koristi vremenski multipleks TDMA sa 12 podintervala po nosiocu, tako da bazna jedinica može da opslužuje više korisnika u isto vreme sa jednim primopredajnikom. Fleksibilnost sistema se ogleda u mogućnosti lociranja više podintervala za jednog korisnika ukoliko se želi povećanje bitske brzine za prenos podataka. Iako sistem koristi TDD (Time Division Duplex), nije neophodna sinhronizacija baznih jedinica. Frekvenčni opseg određen za DECT

U SAD je u upotrebi WACS (Wireless Access System) i nešto izmenjen noviji PACS koji koristi 8 podintervala po nosiocu i, za razliku od drugih standarda za bežičnu telefoniju, ima frekvenčko razdvajanje signala u prijemu i predaji FDD (Frequency Division Duplex), kao što se koristi kod mobilnih celularnih sistema.

U tabeli 2 je prikazan pregled karakteristika sistema za bežičnu telefoniju koji su danas u upotrebi u svetu.

2.2. Zaključak

Kada se porede karakteristike celularnih mobilnih sistema i sistema koji se koriste u bežičnoj telefoniji,

Tabela 2. Karakteristike sistema za bežičnu telefoniju

	CT2	CT2+	DECT	PHS	PACS
Region	Evropa	Kanada	Evropa	Japan	SAD
Dipleksiranje	TDD		TDD	TDD	FDD
Frekvenčni opseg (MHz)	864-868	944-948	1880-1900	1895-1918	1850-1910
Razmak izmedju nosilaca (kHz)	100		1728	300	300
Broj nosilaca	40		10	77	16 parova
Broj korisnika/nosiocu	1		12	4	8
Bitska brzina po kanalu (kb/s)	72		1152	384	384
Modulacija	GFSK		GFSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ QPSK
Kodovanje govora	32 kb/s		32 kb/s	32 kb/s	32 kb/s
Srednja Tx snaga aparata (mW)	5		10	10	25
Vršna Tx snaga aparata (mW)	10		250	80	200
Trajanje rama (ms)	2		10	5	2.5

je 1880-1900 MHz što podrazumeva rad 10 nosilaca. Pored DECT standarda u Japanu postoji PHS (Personal Handy System) koji koristi TDMA ali sa 4 podintervala po nosiocu. Radni kanal se automatski bira na osnovu izmerene jačine polja.

jasno je da se radi o dva komplementarana sistema koji postaju konkurentni tek na nivou piko ćelija. Generalno, bežična telefonija podrazumeva jeftin i izuzetno kvalitetan prenos govora u kvazistatičkom okruženju uz korišćenje jednostavne FSK modulacije i

nekoherentne detekcije signala. U nekim sistemima je u upotrebi i nešto složenija 4QAM modulacija sa koherentnom detekcijom koja obezbeđuje efikasno korišćenje spektra i veći imunitet na interferencije. Mobilni celularni sistemi su pak orijentisani na povećanje efikasnosti korišćenja spektra i na višestruko korišćenje učestanosti u okviru jedne makro ćelije u okruženju brzo promenljivog fedinga. Ovo ima za posledicu povećanje kompleksnosti i bazne stanice i korisničkog aparata i naravno cene ovakvog sistema. U svim mobilnim celularnim sistemima se koristi FDD, odnosno frekvencijsko dipleksiranje, jer je spektar tako određen da postoje parovi učestanosti locirani u dva podopsega. Zbog jednostavnosti sistema, TDD nije prihvacen čak ni u IS-95 standardu kod koga bi sinhronizacija predajnika bila od koristi iz drugih razloga. TDD sa svoje strane omogućava korišćenje kontinualnog frekvencijskog opsega, međutim ukoliko sve bazne stanice nisu sinhronizovane dolazi do kanalske interferencije. U slučaju bežične telefonije u zatvorenom prostoru, problem sinhronizacije nije tako složen kao kad se radi o celularnim sistemima koji se sastoje od velikog broja baznih stanica koje se nalaze na različitim geografskim lokacijama i u otvorenom prostoru [3]. Zbog toga se TDD koristi prevashodno u bežičnoj telefoniji, jer se skupi filtri diplekseri mogu zameniti prekidačima, tako da nije neophodno postojanje simetričnih frekvencijskih opsega razdvojenih sa nekoliko MHz kao u slučaju frekvencijskog dipleksiranja.

U Tabeli 3 su sumirane uporedne karakteristike digitalnih mobilnih sistema i sistema za digitalnu bežičnu telefoniju.

Tabela 3. Karakteristike celularnih sistema i sistema za bežičnu telefoniju

	Digitalna bežična telefonija	Digitalne celularne komunikacije
Karakteristike sistema		
Veličina ćelija	male (50 do 500m)	velike (0.5 do 30 km)
Elevacija antene	mala (15m ili manja)	velika (15m ili veća)
Brzina kretanja	mala (6 km/h ili manje)	velika (do 250km/h)
Pokrivanje	zonalno	regionalno
Kompleksnost aparata	mala	velika
Kompleksnost bazne jedinice	mala	velika
Korišćenje spektra	višestruko	ekskluzivno
Karakteristike uredjaja		
Tx snaga(aparat)	5 do 10 mW	100 do 600mW
Dipleksiranje	TDD	FDD
Kodovanje govora	32 kb/s ADPCM	8 do 13 kb/s vocoder
Korekcija grešaka	CRC	FEC/ učešljavanje
Detekcija	diskriminat or/ diferencijal na	koherentna/ ekvilajzer

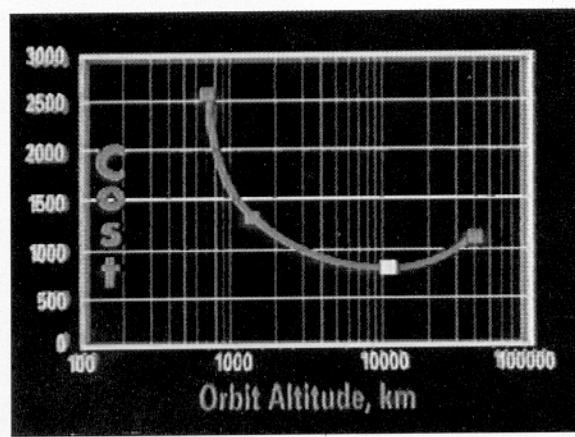
3. Mobilne satelitske komunikacije

3.1. Opšte karakteristike

Mobilne satelitske komunikacije doživljavaju izuzetnu ekspanziju poslednjih nekoliko godina, tako da se napredak u ovoj oblasti može uporediti sa onim što je ostvareno u satelitskim komunikacijama u poslednjih 30 godina [4].

Odlika mobilnih satelitskih sistema je da obezbeđuju globalno pokrivanje velikih regiona i da predstavljaju komplement zemaljskom mobilnom sistemu u retko naseljenim regijama kao i u onim oblastima gde su zbog konfiguracije terena zemaljski sistemi skupi ili manje efikasni. Osobina globalnog pokrivanja predstavlja i manu ovih sistema, jer je iz orbite teško ostvariti male ćelije na Zemlji što je preduslov za višestruko korišćenje učestanosti i povećanje kapaciteta sistema.

Prema visini orbite, satelitski sistemi se dele na sisteme sa niskom orbitom (LEO), koji obično imaju od 10 do 100 satelita, zatim na satelitske sisteme sa srednjom visinom orbite Medium Earth Orbit (MEO) i na geostacionarne satelite. Da bi obezbedili pokrivanje cele Zemljine površine LEO sistemi se sastoje od velikog broja satelita i sa njima je lakše obezbediti manje zone pokrivanja, a samim tim i veći kapacitet za dodeljeni opseg učestanosti. Veći broj satelita ne znači i srazmerno veću cenu sistema jer se radi o jeftinijim satelitima a i cena njihovog postavljanja u orbitu je manja. Na slici 5 je prikazana zavisnost cene sistema od visine orbite[5].



Slika 5. Zavisnost cene sistema od visine orbite

Geostacionarni sateliti imaju niz nepogodnosti što se tiče mobilnih komunikacija. Najveći problem je veliko kašnjenje koje se javlja pri prenosu govora, zbog

velike visine orbite (35 786km). Ukupno kašnjenje u jednom pravcu koje uključuje vezu ka i od satelita je 240-270ms, što za prosečan medjunarodni razgovor daje kašnjenje od 0.6s. Ovaj efekat se direktno manifestuje na kvalitet govora, jer se javlja echo. Problem echo se može znatno umanjiti primenom specijalnih tehniki, međutim ovaj efekat kašnjenja je nerešiv problem za primenu protokola za korekciju grešaka retransmisijom. U prisustvu echo jedino algoritmi za korekciju greške unapred-FEC, mogu biti od pomoći.

Drugi važan problem sa geostacionarnim satelitima je što ne obezbeđuju dobro pokrivanje zona iznad 75° geografske širine. Geostacionarni sateliti su vidljivi blizu horizonta, tako da se njihov snop lako blokira visokim zgradama ili planinama.

Teorijska i eksperimentalna ispitivanja pokazuju da je za zadovoljavajući kvalitet satelitskih veza, neophodno da elevacioni ugao satelita bude veći od 40° , što je u slučaju geostacionarnih satelita teško ostvariti i na geografskim širinama manjim od 45° . Sa druge strane, velike elevacione uglove je lako ostvariti sa satelitima koji su na nižoj orbiti.

Zahtevi da kašnjenje pri prenosu signala bude što manje, da elevacioni uglovi satelita budu što veći kao i da ukupni gabariti satelita budu što manji, dovodi do zaključka da su za mobilne satelitske komunikacije najbolji izbor satelitski sistemi sa niskom orbitom ili pak sa orbitom srednje visine. Naravno, visina satelitske orbite se ne može potpuno proizvoljno birati jer pored uticaja atmosfere, oko Zemlje postoje Van Allen-ovi prstenovi sa povećanom radijacijom, koji su kao torusi postavljeni oko Zemljine magnetske ose na visinama od 1500-5000 km i od 13000-20000 km. Tako LEO satelitski sistemi Iridium i Globstar imaju orbite na visinama ispod 1000 km ispod prvog pojasa, dok Odyssey ima orbitu izmedju dva Van Allen-ova pojasa.

Prvi sateliti koji obezbeđuju mobilan satelitski servis su sateliti sa geostacionarnom orbitom INMARSAT i noviji sistem MSAT koji je obezbeđuje mobilni

operativan do 2000 godine. Ovaj sistem bi trebalo da obezbedi:

- globalni pejdžing

Tabela 4. Karakteristike negeostacionarnih mobilnih satelitskih sistema Big-LEO

Sistem	Broj satelita	Broj orbitskih ravnih	Sateliti /ravan	Visina (km)	Frekvencije (MHz)	Masa (kg)	Vek trajanja (god.)	Početak rada
Iridium (Motorola)	66	6	11	780	1616-1626.5 29100-29300 19400-19600 23180-23380	700	5	1998.
Odyssey (TRW)	12	3	4	10400	1610-1626.5 2483.5-2500 29500-30000 19700-20200	1917	10	1998.
Globalstar (Loreal)	48	8	12	1400	1610-1626.5 2483.5-2500 6484-6541.5 5158-5216	167	7.5	1997.
Ellipso (Ellipsat)	15	3	5	7800 X 540 7800	1610-1626.5 2483.5-2500	300	--	1997.
Aries (Constell.)	48	4	12	1018	1610-1626.5 2483.5-2500 6555, 5160	195	--	1996.

satelitski servis u Severnoj Americi i Karipskom regionu.

Prvi INMARSAT sistem je počeo da se koristi od 1982. godine za prenos govora, podataka i teleksa za brodove. U svetu trenutno ima 24000 Inmarsat-A mobilnih terminala od kojih 30% koriste velika transportna vozila na kopnu.

Nova generacija ovih satelita, Inmarsat-M sistem, pored komunikacije sa većim i manjim brodovima ima mogućnost komunikacije i sa mobilnim korisnicima na kopnu.

Ovi sistemi koriste frekvencijski multipleks od satelita prema korisniku i vremenski multipleks u obrnutom smeru.

U pripremi je i sledeća generacija INMARSAT satelita pod nazivom Inmarsat-P, koji bi se koristio za personalne komunikacije i predviđen je da bude

- personalnu navigaciju i
- prenos govora, podataka i faksimila od individualnih korisnika.

Napravljene su studije o optimalnom izboru orbite i za sada se zna da se neće koristiti niska orbita. Ostaje da se vidi da li će to biti srednja ili geostacionarna orbita.

Treba imati u vidu da se u ovom trenutku za javni mobilni saobraćaj koriste jedino geostacionarni satelitski sistemi INMARSAT, sa sedištem u Londonu i MSAT sa sedištem u SAD. Svi ostali satelitski sistemi čije se lansiranje očekuje narednih nekoliko godina su sa niskom i srednjom orbitom i njihove centrale su u SAD.

U Tabeli 4 je dat pregled karakteristika najperspektivnijih negeostacionarnih satelitskih sistema. U daljem tekstu će biti detaljnije prikazana dva satelitska sistema, Iridijum kao LEOS i Odyssey kao

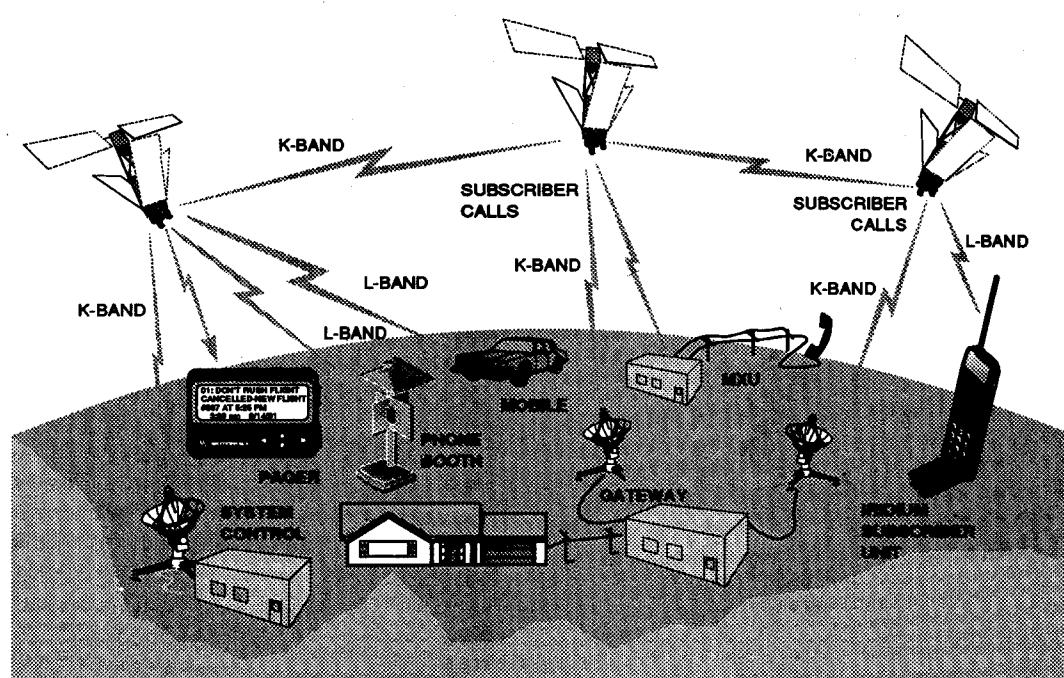
MEOS, koji prema autorima najbolje ilustruju mogućnosti naredne generacije mobilnih stelitskih sistema.

3.2. Komunikacioni satelitski sistem Iridium

Iridium [6] je globalni digitalni sistem namenjen za personalne komunikacije, koji treba da predstavlja

jednog satelita, a dešavaće se i prelasci iz snopa jednog satelita u snop drugog satelita. Umesto stacionarnih ćelija i mobilnih korisnika kako je to u zemaljskom celularnom sistemu, kod Iriduma se radi o relativno stacionarnim korisnicima i mobilnim ćelijama, jer jedan obilazak satelita oko Zemlje traje 100 minuta.

Poruka od jednog do drugog korisnika ide preko



Slika 6. Infrastruktura za satelitski sistem Iridium

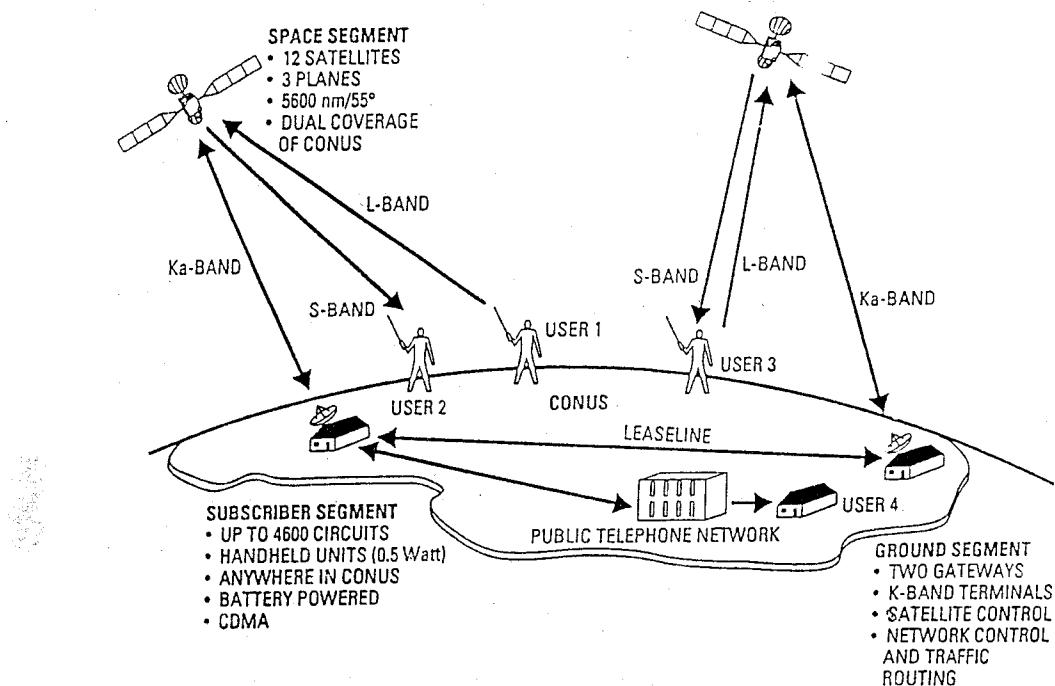
komplement postojećim zemaljskim celularnim sistemima i projektovan je na principima celularne telefonije. Vrednost investicija u ovaj sistem je 3.4 milijarde dolara, a investitori su Motorola, Sprint, STET i BCE. Sistem se sastoji od 66 satelita u 6 orbita koji formiraju na Zemlji 3168 ćelija. Da bi se obezbedilo prekrivanje cele površine Zemlje potrebno je da bude aktivno 2150. Svaki satelit ima 3 antene koje rade na L opsegu i koje na Zemlji formiraju 48 ćelija, koje se kreću zajedno sa kretanjem satelita. Korisnik prelazi iz jednog snopa u drugi u okviru

satelita, a zatim se pomoću linkova na 23 GHz poruka šalje ka odgovarajućem satelitu do željene lokacije. Pomoću ovih linkova, svaki satelit je u vezi sa dva susedna satelita u istoj orbiti i sa po dva satelita u svakoj od susednih orbita. Na satelitu se vrši demodulacija primljenog signala da bi se odredila destinacija na koju poruka treba da se prosledi. Iridium je vezan na zemaljsku telefonsku mrežu preko zemaljskih stanica (gateway) koje mogu da budu regionalne ili pak državne.

Visina orbite satelita je tako izabrana da je sa svake tačke na Zemlji vidljiv neki satelit na visini koja nije manja od 8° iznad horizonta. Sa druge strane, suviše niska orbita znači i kraći vek satelita zbog uticaja atmosfere. Za visinu orbite je odabранo 780 km kao odgovarajući kompromis.

Na slici 6 je prikazana infrastruktura koja čini komunikacioni sistem Iridium. Personalni aparati rade

Iridium bi trebalo da omogući ono što dosadašnji satelitski sistemi i postojeća telefonska mreža nisu bili u stanju da pruže korisniku, a to je da korisnik sa džepnim aparatom može da uspostavi vezu ne vodeći računa da li postoji telefonska govornica, kablovska mreža, stubovi sa mikrotalasnim linkovima ili satelit koji pokriva zonu u kojoj se on nalazi. Korisnik bi jedino trebalo da brine o kvalitetu govora, o tome da



Slika 7. Infrastruktura jednog konusa u sistemu Odyssey

u opsegu od 1616-1626.5 MHz i ovaj isti opseg se koristi i za smer od Zemlje prema satelitu i od satelita prema korisniku, pri čemu up link koristi frekvencijski multipleks, dok je u obrnutom smeru upotrebljen vremenski multipleks. Motorola planira da proizvede personalne aparate koji imaju istu predajnu snagu kao odgovarajući aparati za celularnu telefoniju i koji rade u dvostrukom režimu, tako da se mogu koristiti u zemaljskom celularnom sistemu ukoliko on postoji, kao i u sistemu Iridium. Očekuje se da cena ovih aparata bude između 2500\$-3000\$.

li je pozvani broj slobodan i o ceni usluge.

Lansiranje satelitskog sistema treba da počne 1996. godine, s tim što se očekuje da sistem bude operativan 1998. godine.

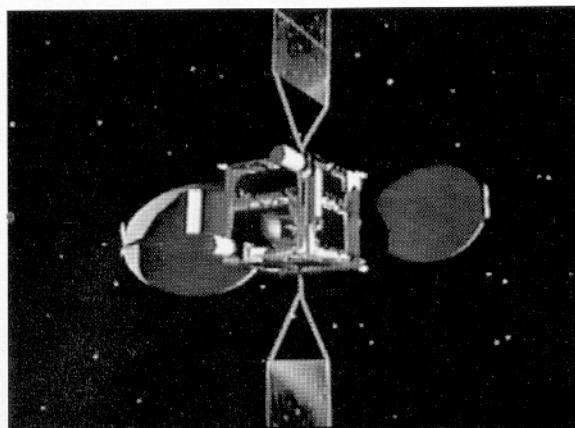
3.3. Osnovne karakteristike satelitskog sistema Odyssey

Koncept satelitskog sistema Odyssey se bitno razlikuje od sistema Iridium, iako su oba ova sistema projektovana tako da budu nadgradnja zemaljskog

celularnog sistema i da obezbede prenos govora, podataka i faksimila. Odyssey je daleko jednostavniji i jeftiniji sistem od Iridium-a, jer se sastoji 12 satelita koji se nalaze u tri orbite na visini od 10370 km, pri čemu se sa 37 satelitskih snopova obezbeđuje pokrivanje kopnenog dela Zemljine površine. Iako se satelit kreće oko Zemlje, satelitske antene se tako podešavaju da ćelija koju antenski snop formira na Zemlji ostaje stacionarna.

Na slici 7 je prikazana infrastruktura jednog konusa u sistemu Odyssey [7], koji pokrivaju 2 satelita u isto vreme. Satelit ostaje iznad jednog konusa neprekidno 2 časa, tako da je u tom periodu eliminisana potreba za satelitskim hadoff-om. Veza izmedju personalnih aparata i satelita se odvija na učestanostima 1610-1626.5 MHz, dok se u obrnutom smeru koristi opseg 2483.5-2500 MHz. Sateliti su povezani sa zemaljskim stanicama pomoću linkova na 20 GHz za smer od satelita ka Zemlji, a pomoću linka na 30 GHz u suprotnom smeru. Kapacitet jednog satelita je oko 2300 komunikacionih kanala.

Na slici 8 je prikazan izgled jednog od satelita Odyssey.



Slika 8. Izgled jednog od satelita u sistemu Odyssey

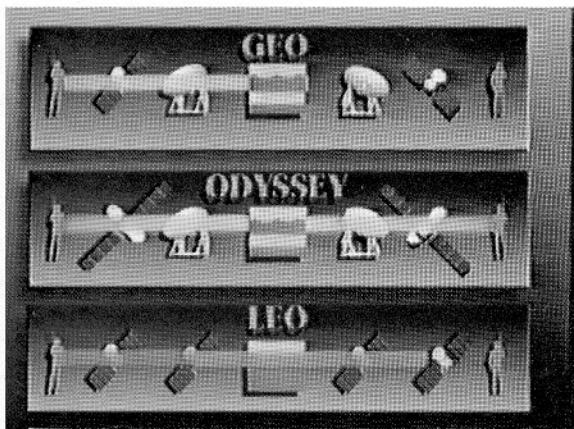
Sistem Odyssey je tako projektovan da su unapred isključen prenos signala sa jednog na drugi satelit, a znatno je ograničen i prelaz iz jednog snopa u drugi u

toku istog telefonskog poziva. Ovo znatno pojednostavljuje obradu signala u sistemu i celo upravljanje sistemom, koje je inače centralizovano za svih 12 satelita.

Na slici 9 je prikazano kašnjenje pri prenosu govora [5] kod geostacionarnih satelita, koje je uglavnom posledica visine orbite, zatim kod sistema Iridium gde se kašnjenje uglavnom javlja usled veoma komplikovane obrade signala i transmisije od jednog do drugog satelita, jer su ćelije u ovom sistemu mobilne i u toku razgovora dolazi do toga da korisnik prelazi iz jednog snopa u drugi i čak iz zone jednog satelita u zonu drugog. Što se tiče kašnjenja, Odyssey je projektovan tako da obezbedi minimalno kašnjenje pri prenosu govora, a primena spread spectrum tehnike omogućava da sistem dobro radi i pri malim marginama za feding.

Cena investicija za razvoj ovog sistema je reda 1.3 milijarde dolara, a glavni investitori su TRW iz SAD i Teleglobe iz Kanade. Predviđeno je da lansiranje satelita počne 1997. godine, a da sistem inicijalno otpočne da radi sa 6 satelita 1998. godine. Procenjuje se da bi cena personalnog aparata mogla da bude reda 300\$, pri čemu bi aparat radio u dvostrukom režimu, bio bi kompatibilan zemaljskom mobilnom sistemu i mogao bi da radi preko sistema Odyssey, ukoliko zemaljski sistem nije raspoloživ.

U odnosu na Iridium koji označava potpuno nov pristup rešavanju problema globalnih komunikacija, Odyssey predstavlja dalje logično proširenje i unapređenje postojećeg zemaljskog celularnog sistema, uključujući u mobilne komunikacije prednosti koje nude satelitski sistemi. Uspeh ova dva sistema u godinama koje dolaze, označiće pravce u kojima će se kretati dalji razvoj komunikacija, pri čemu one nikad više neće biti kakve su bile pre ovih sistema.



Slika 9. Poredjenje kašnjenja pri prenosu govora kod satelitskih sistema

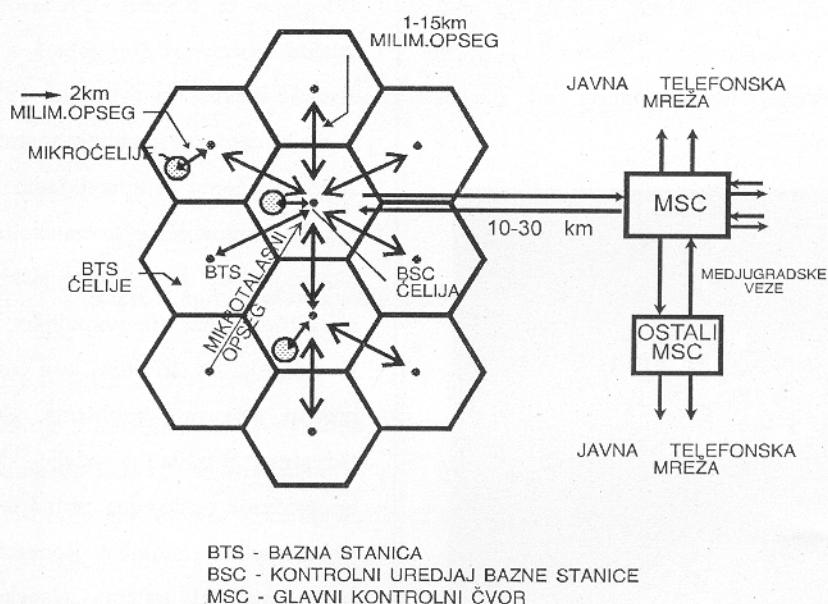
II Milimetarski linkovi

Kod svih izloženih sistema za bežične komunikacije evidentan je izuzetno brz razvoj koji je uslovljen

poslednjih godina u oblasti mikrotalasne i milimetarske tehnike, zajedno sa rezultatima ostvarenim na polju obrade signala, predstavljaju osnovu za dalju ekspanziju sistema za bežične komunikacije.

Posebno veliki udio u izgradnji mobilnog celularnog sistema imaju milimetarski linkovi, koji omogućavaju da se celularni sistem projektuje i razvija potpuno nezavisno od postojeće kablovske mreže. Jednostavnost i brzina montaže kao i izuzetno konkurentna cena milimetarskih linkova u odnosu na cenu iznajmljenih kablovskih veza, omogućava da se prevaziđe monopol koji na kabovsku mrežu drže nacionalne PTT organizacije. Bez postojanja ovog novog rešenja za povezivanje baznih stanica sa kontrolerom baznih stanica i dalje sa mobilnom

PERSONALNA KOMUNIKACIONA MREŽA



Slika 10. Primena milimetarskih linkova u mobilnoj telefoniji

velikom potražnjom za novim vrstama telekomunikacionih usluga, koje nisu uslovljene postojanjem kablovske mreže. Rezultati ostvareni

telefonskom centralom, zahtev za demonopolizacijom u oblasti telekomunikacija bio bi samo prazna priča, jer bi novi operateri bili suštinski zavisni od vlasnika

nacionalne kablovske mreže. Zato nije nikakvo čudo što u Kanadi i drugim zemljama sa razvijenom mobilnom telefonijom, telefonske kompanije imaju svoj sopstveni razvoj i proizvodnju milimetarskih linkova, jer oni predstavljaju kičmu celog sistema.

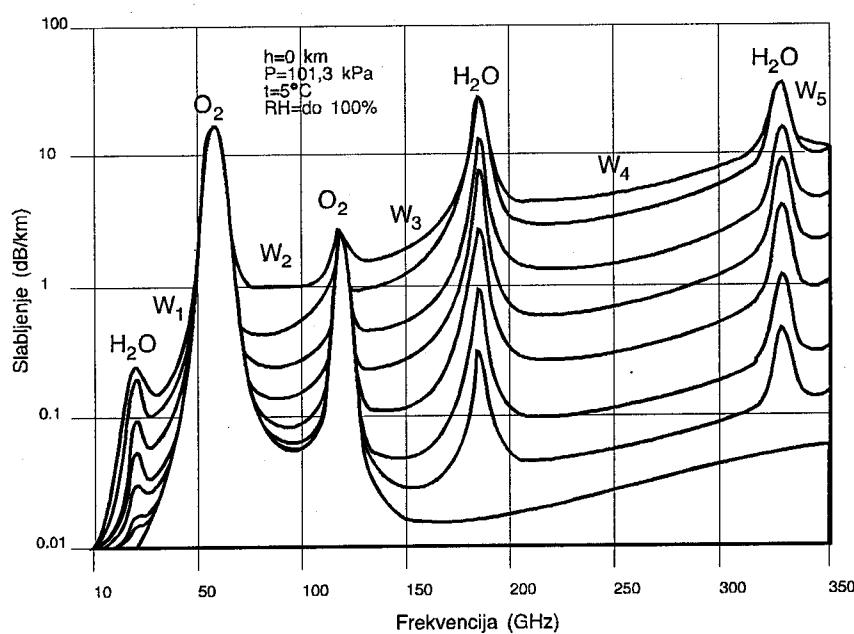
Na slici 10 prikazana je primena mikrotalasnih i milimetarskih linkova u ćelijskoj strukturi mobilne telefonije [8]. Zbog postojanja ćelija različitih veličina, od onih u retko naseljenim ruralnim područjima, do mikro i piko ćelija u poslovnim delovima grada, potreba za milimetarskim linkovima različitog dometa, od 2 km do 15 km, je izuzetno velika. Mikrotalasni linkovi koji rade na frekvencijama ispod 20 GHz uglavnom se koriste za povezivanje kontrolera baznih stanica sa glavnim kontrolnim centrom na rastojanjima koja su veća od 20 km.

Osnovna karakteristika milimetarskih linkova su male dimenzije i velika otpornost na smetnje od strane

pojednostavljeni planiranje čak i gustih gradskih mreža, jer se jedna radna frekvencija može ponavljati više puta na bliskim rastojanjima bez opasnosti od međusobnih uticaja. Osim toga, frekvencijski opseg ispod 20 GHz je već uveliko zagušem od strane postojećih korisnika, da primena milimetarskih linkova i sa tog aspekta ima velike prednosti.

1. Uslovi prostiranja

Kod milimetarskih linkova uslovi prostiranja u atmosferi imaju veliki uticaj na domet veze. Najveći uticaj ima slabljenje usled kiše, kao i slabljenje zbog molekularne apsorpcije gasova (vodene pare i kiseonika) u atmosferi. Na slici 11 prikazano je slabljenje u atmosferi za razne vrednosti relativne vlažnosti vazduha od 0 do 100%. Kiseonik ima izrazit maksimum slabljenja na oko 60 GHz, tako da je



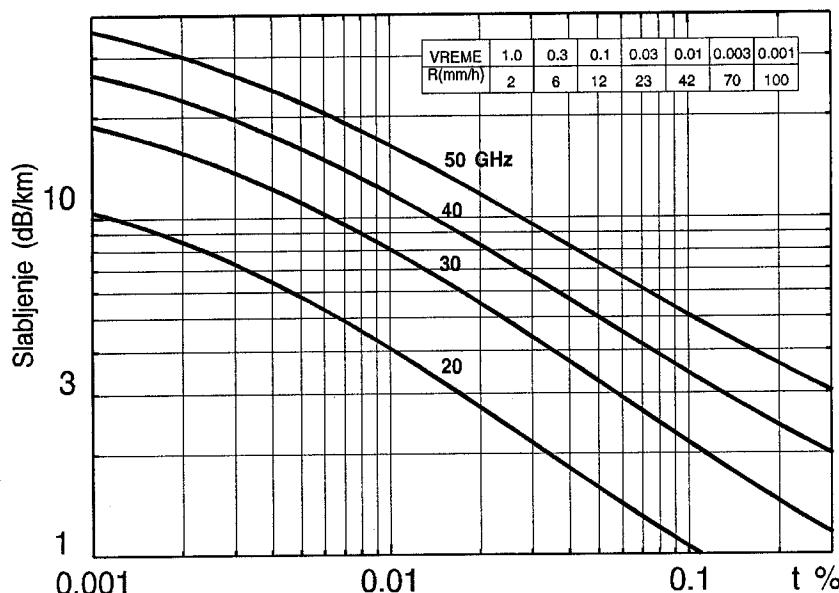
Slika 11. Slabljenje u atmosferi u zavisnosti od relativne vlažnosti vazduha

drugih radio uredjaja. Zbog karakteristika prostiranja na ovim opsezima i velike usmerenosti antena, znatno je

slabljenje u atmosferi za linkove koji rade na 58 GHz oko 80 puta veće u odnosu na slabljenje na 38 GHz.

Vodena para ima tri maksimuma apsorpcije na oko 22 GHz, 183 GHz i 323 GHz. Izmedju ovih maksimuma apsorpcije, postoje apsorpcioni prozori u kojima se prostiranje milimetarskih talasa odvija bez većih slabljenja. Tako na primer, izmedju 20-50 GHz, gde je lociran prvi prozor, podužno slabljenje u atmosferi je ispod 0.7 dB/km čak i za vlažnost od 100%.

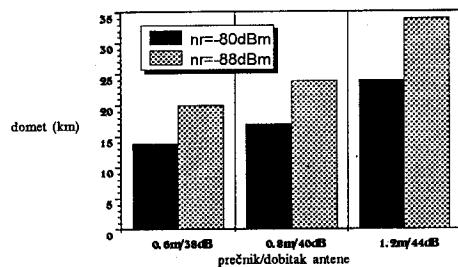
Danas čak i linkovi na 60 GHz, kod kojih je jako izraženo slabljenje usled apsorpcije kiseonika, imaju veliku primenu u gusto naseljenim mestima, jer se već na 10 km može ponoviti ista učestanost bez ikakvih opasnosti od interferencije. Projektovanje ovakvih veza je izuzetno pojednostavljen, jer nije potrebno uzimati u obzir uticaj ravnog fedinga, već samo ostaviti u



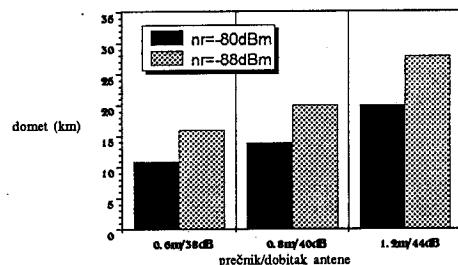
Slika 12. Slabljenje usled kiše za "K" zonu prema CCIR-u

Najveći uticaj na domet milimetarskih linkova ima slabljenje usled kiše. Budući da intenzitet padavina zavisi od konkretnе klimatske zone, to je na slici 12 prikazano podužno slabljenje u funkciji vremena kada intenzitet kiše prevaziđa vrednost datu prema CCIR-u za "K" zonu. To slabljenje takođe zavisi od učestanosti, pa su na dijagramu date krive za 20, 30, 40 i 50 GHz. Prilikom projektovanja ovakvih veza potrebno je, u zavisnosti od toga koja se raspoloživost veze traži, ostaviti odgovarajuću rezervu za feding koja je reda 2, 4, 7 ili 10 dB/km u zavisnosti na kojim učestanostima radi link [9]. Uticaj atmosfere na domet milimetarskih linkova samo na prvi pogled predstavlja ograničenje za široku primenu linkova na visokim učestanostima.

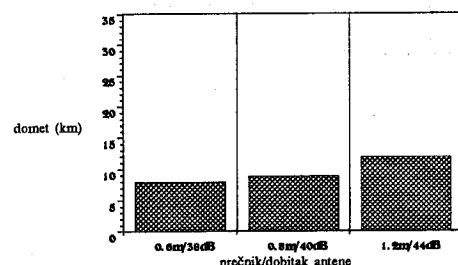
Proračunu odgovarajuću rezervu zavisno od intenziteta kiše i od dužine trase. Na slici 13 prikazan je domet IMTEL-ovog linka RRU 23/2 koji radi u opsegu 21.2-23.6 GHz i Telefunken-ovog linka na 38 GHz, koji je tipičan milimetarski link. Posmatrani su domet za tri veličine antene od 38, 40 i 44 dB za klasu KC-ČC (krajnja centrala-čvorna centrala). Proračun je urađen pomoću programa CARRD [10], i jasno se vidi da kod linka na 38 GHz, domet zavisi samo od zahtevanog kriterijuma za neraspoloživost veze i od dobitka antene, dok kod linka na 23 GHz postoji i uticaj ravnog fedinga, pa se dobijaju različite vrednosti za domet zavisno od talasnosti terena.



Slika 13. a) Domet RRU23/2 za talasnost terena od 15.2m



Slika 13. b) Domet RRU23/2 za talasnost terena od 6m



Slika 13. c) Domet RRU na 38GHz (ne zavisi od talasnosti terena)

2. Milimetarski primopredajnici

Milimetarski primopredajnici predstavljaju ključni elemenat milimetarskih linkova, što znači da od načina njihove realizacije bitno zavisi pouzdanost, cena i težina linka. Najnoviji linkovi su realizovani u planarnoj ili kvazi planarnoj tehnologiji koja znatno

pojednostavljuje proizvodnju i omogućava jednostavnu integraciju svih posklopova.

Danas u svetu postoji više različitih koncepta u realizaciji milimetarskih primopredajnika za linkove. Jedan pristup se bazira na tome da se već postojeći koncept za linkove na nižim učestanostima, prostim udvajanjem učestanosti ili up konverzijom, prebac na milimetarski opseg. Pri tome se koriste različite QPSK modulacije koje obezbeđuju efikasno korišćenje raspoloživog spektra, što je jako bitno na nižim učestanostima, ali na milimetarskom opsegu to nema mnogo smisla zbog velike raspoložive širine radnog opsega.

Drugi koncept pri projektovanju primopredajnika uzima u obzir osobenosti milimetarskog opsega i bazira se na oscilatorima sa dielektričnim rezonatorima koji imaju manju stabilnost, ali se zato koristi FSK modulacija i nekoherentna detekcija kod koji se i ne zahteva velika stabilnost učestanosti nosioca.

Najnoviji zahtevi koji se postavljaju pred radio-relejne uređaje u opsegu od 13-55 GHz diktiraju i novi pristup u rešavanju problema optimalnog projektovanja mikrotalasnih i milimetarskih primopredajnika. Prema [11], optimalni koncept radio-relejnog sistema podrazumeva maksimalnu modularnost uređaja i mogućnost višestrukog korišćenja njegovih funkcija u različitim RF opsezima. Optimalni radio-relejni sistem bi trebao da ima mogućnost daljinskog programiranja osnovnih funkcija kao što su:

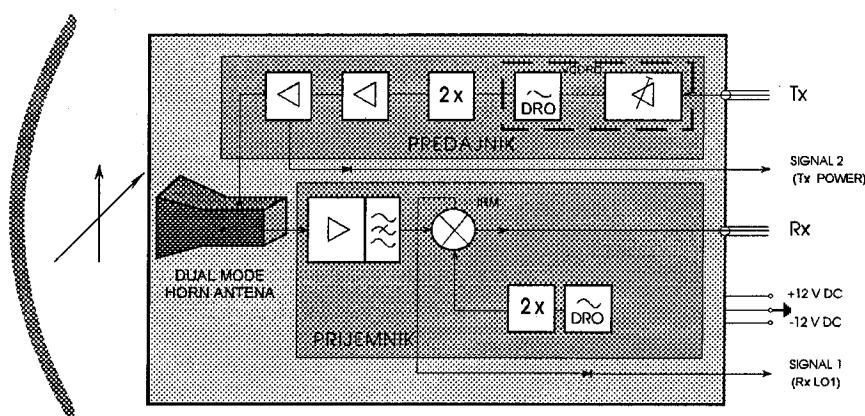
- Nivo snage predajnika
- Predajna i prijemna RF učestanost što znači frekventno agilnu sintezu i
- Promenljiva brzinu prenosa (brzina prenosa od $N \times 2\text{Mbit/s}$, pri čemu je N programabilno).

Iz ovoga sledi da bi optimalni koncept milimetarskog primopredajnika za point-to-point link, bio onaj koji

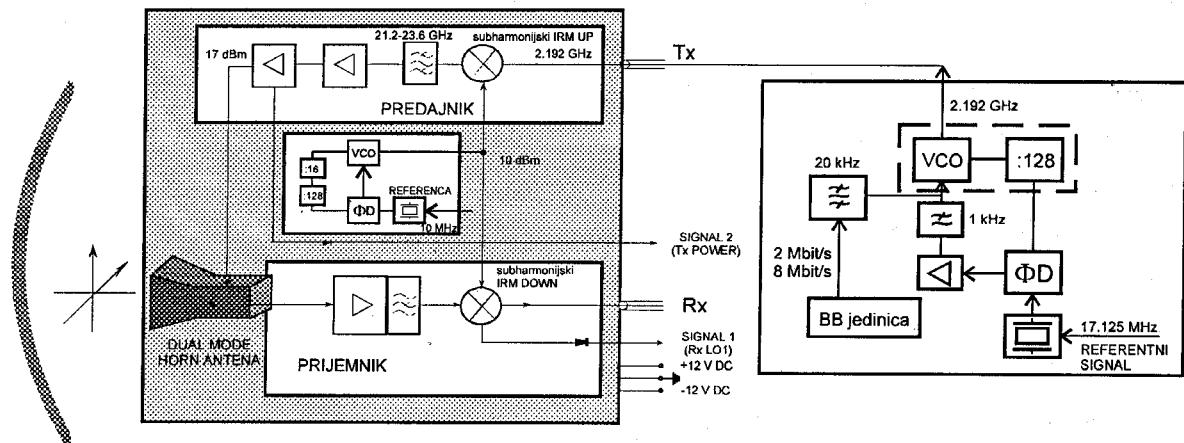
omogućava da se uz minimalne prepravke dobije link čija se RF učestanost može menjati u širokom opsegu, kao i brzina prenosa, odnosno kapacitet. Ovim zahtevima bi trebalo dodati i zahtev za daljinskim nadgledanjem i očitavanjem podataka iz data logger-a koji se odnose na indikacije ispravnosti rada linka, koje bi pojednostavilo održavanje velikog broja linkova u mreži za mobilnu telefoniju ili DECT sisteme. Na slici 14 je prikazana realizacija primopredajnika za IMTEL-ov link na 23 GHz koja reprezentuje koncept prilagođen milimetarskom talasnom području. Razmak između susednih kanala je 28 MHz i 56 MHz, za brzine prenosa od 2 Mbit/s i 8 Mbit/s respektivno, tako da DRO i VC DRO oscilatori sa stabilnostima od $\pm 10^{-4}$ u celom temperaturnom opsegu, sasvim zadovoljavaju. U uredjaju se koristi HDB3-FSK modulacija i nekoherentna detekcija, tako da stabilnost učestanosti nije kritična.

Osnovna karakteristika IMTEL-ovog koncepta je da oscilatori prijemnika i predajnika rade na dva puta

nižoj učestanosti, tj. u opsegu od 10-12 GHz, a zatim se umnožavaju dva puta, pri čemu se koriste komponente koje su razvijene za satelitsku televiziju i koje su zbog masovne proizvodnje jeftinije u odnosu na druge mikrotalasne komponente. Mana ovog koncepta je da se pri promeni radnog kanala na kome link radi, mora vršiti mehaničko prepodešavanje učestanosti na 4 oscilatora sa dielektričnim rezonatorima. Optimalni koncept primopredajnika [12] koji uzima u obzir zahtev da se obezbedi izvesna frekventna agilnost uredjaja i jednostavna promena ne samo radnog kanala već i RF opsega na kome radio-relejni uredjaj radi, prikazan je na slici 15. Ovaj koncept obezbeđuje veliku pouzdanost, ponovljivost i fleksibilnost primopredajnika koji može da se primeni na čitav spektar mikrotalasnih i milimetarskih linkova za koje generalno postoje različiti zahtevi što se tiče stabilnosti učestanosti, razmaka kanala i čistoće emitovanog spektra.

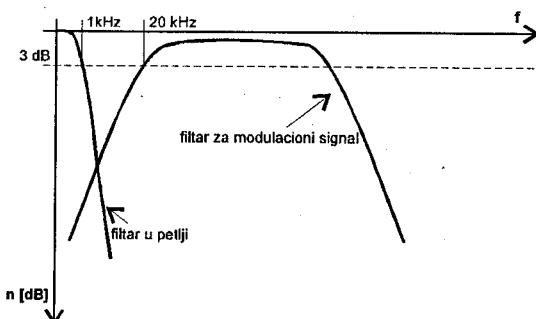


Slika 14. Mikrotalasni primopredajnik IMTEL-ovog linka na 23 GHz



Slika 15. Mikrotalasni primopredajnik sa kvarcno stabilisanim oscilatorom

Modulisani signal na 2.192 GHz dovodi se iz MF modula gde se frekvencijska modulacija obavlja u samoj PLL petlji koja vrši stabilizaciju VCO. Zahvaljujući tome što modulišući signal nema komponente na DC, moguće je realizovati filtarsku mrežu na kontrolnom ulazu VCO, kao što je pokazano na slici 16.



Slika 16. Filtarska struktura za istovremenu modulaciju i stabilizaciju učestanosti u PLL petlji VCO-a na 2.192 GHz

Zahvaljujući NF filtru sa graničnom učestanostu od 1 kHz za signal iz petlje i filtru propusniku opseg sa donjom graničnom učestanostu od 20 kHz u kolu modulišućeg signala, oba ova signala se dovode u istu tačku, na varikap diodu VCO, tako da se proces modulacije i stabilizacije obavlja izuzetno efikasno.

Ovim rešenjem je smanjen broj kritičnih elemenata u primopredajniku, a istovremeno je otklonjen problem linearnosti VC DRO, jer je obezbedjena linearna promena učestanosti predajnog signala od ± 100 MHz. Druge vrste modulacija, kao što su fazna i amplitudska modulacija ASK, moguće su takodje uz minimalne modifikacije na prikazanom kolu VCO na 2.192 GHz.

U ovom konceptu se umesto dublera i pojačavača koriste subharmonijski IRM mešači koji omogućavaju da se konverzija obavi i sa lokalnim oscilatorom na dva puta nižoj učestanosti od ulaznog signala. Ideja da se zameni dubler i pojačavač sa složenijim sklopolom subharmonijskog mešača koji nije temperaturno zavisan, izuzetno je zanimljivo rešenje za linkove koji rade na učestanostima iznad 30 GHz.

Optimalni koncept linka podrazumeva da se koristi kvarcno stabilisan oscilator umesto DRO. Zbog razvoja satelitske televizije, na tržištu se mogu naći jeftini delitelji učestanosti za opseg 10-12 GHz, što čini ovo rešenje i ekonomski prihvatljivim. Ovo rešenje takodje omogućava elektronsku promenu radne učestanosti, što nije toliko važno za linkove iznad 20 GHz, jer se očekuje da neće postojati potreba da se

radi na velikom broju različitih kanala zbog prirode prostiranja na visokim učestanostima. Medutim, kvarcno stabilisani oscilatori mogu da budu jedino rešenje za linkove na 23 GHz, s obzirom na nove propise za ovaj frekvenički opseg. Naime, i na opsegu od 23 GHz zahteva se da razmak izmedju kanala bude 3.5 MHz i 7 MHz za kapacite od 2 Mbit/s i 8 Mbit/s respektivno. Sa povećanjem broja milimetarskih linkova u eksploataciji, treba očekivati mnogo oštije zahteve za efikasnim korišćenjem raspoloživog spektra i na učestanostima iznad 30 GHz, što takodje podrazumeva korišćenje veoma stabilnih oscilatora sa kvarcnom referencom. Ovo svakako znači i povećanje ukupne cene primopredajnika kako je to pokazano u Tabeli 5 [11], što za proizvodjače linkova predstavlja veliki problem. Naime, sva ispitivanja tržišta pokazuju da u narednih

prenosne puteve i jednostavna montaža, omogućavaju uključivanje novih operatera u mobilne komunikacije i veću konkurenčiju u oblasti pružanja raznih servisa.

LITERATURA

- [1] Padgett, J., Gunter, C., Hattori, T., *Overview of Wireless Personal Communications*, IEEE Communications Magazine, January 1995, pp. 28-41
- [2] Kobb, B., *Personal Wireless*, IEEE Spectrum, June 1993, pp. 20-25
- [3] Cox, D., *Wireless Personal Communications: What Is It?*, IEEE Personal Communications, April 1995, pp. 20-35
- [4] Wu, W., Miller, E., Pritchard, W., Pickholtz, R.,

Tabela 5 Karakteristike mikrotalasnih generatora

Mikrotalasni generatori	Relativna cena Materijal (%)	Relativna cena Rad (%)	Relativna cena Ukupno (%)	Efektivni Q faktor	Stabilnost učestanosti (ppm)	Frekventna agilnost (promenljivost)
DRO	45	55	100	1000/2000	0.05-0.1	Nije moguća
Dual Loop Synt.	120	100	220	100/200	0.5-1	Poželjna (proizvodjač)
Multy Loop Synt.	180	150	330	6000/12000	0.015-0.03	Ostvarljiva

5 godina treba očekivati pad cene milimetarskih linkova i do 30 %, zbog velike konkurenčije na tržištu.

3. Zaključak

Milimetarski linkovi imaju izuzetno važnu ulogu u sistemima za mobilne komunikacije jer omogućavaju jednostavno planiranje mreže za mobilnu telefoniju čak i u gusto naseljenim gradskim područjima. Male dimenzije ovih uredjaja, niska cena u odnosu na druge

Mobile Satellite Communications, Proceedings of the IEEE, September 1994, pp. 1431-1448

[5] Rusch, R., *Moving Cellular Communications Into Space*, Planetary Session IEEE MTT-S 1995 International Microwave Symposium

[6] Leopold, R., Miller, A., *The Iridium Communications System*, 1993 IEEE MTT-S Digest, pp. 575-578

[7] Geller, B., *Workshop on Mobile Communications Systems*, June 1993

- [8] Leyshon, R., *Millimetric Technology Gets a New Lease of Life*, Telecommunications, November 1991, pp. 51-54
- [9] Jovanović, S., Nešić, A., *Korišćenje milimetarskog talasnog područja za prenos informacija*, Telekomunikacije Broj 4, 1987., pp. 34-43
- [10] Perić, D., Perić, M., *CARRD-Program za projektovanje digitalnih radio-relejnih veza*, IMTEL 1993.
- [11] Baccetti, B., Giavarni, A., *Microwave technology in modern fixed point-to-point radio systems*, 25th European Microwave Conference, Conference Proceedings, 1995, pp. 508-518
- [12] Jokanović, B., Manojlović, P., *Optimalni koncept mikrotalasnog primopreajnika za link na 23 GHz*, Telfor 93, Zbornik radova, pp. 140-143

ZAHVALNICA

Autori se najljubaznije zahvaljuju Dr Ferdu Ivaneku, Communications Research, USA, za veoma korisne članke bez kojih ovaj rad ne bi bio potpun i Dr Roger Rusch, TRW Odyssey Services Organisation, USA, za video kasetu o satelitskom programu Odyssey koja je autorima bila od velike koristi.

Application of Microwaves in Mobile Communication Systems

Abstract

The global public wireline network developed to date allows reliable communication of voice and low-rate data. Unlike immobile telephone networks, the aim of wireless communications is to allow the user flexible access to the global communications network at any time regardless of location or mobility.

Although cellular and cordless telephony have both gained widespread acceptance over the last decade, they do not yet allow total wireless communication. Existing cellular systems are limited to voice and low-speed data within areas covered by base stations. Cordless telephone, which is the wireless counterpart of the standard telephone, provides wireless connection to the public wireline telephone network within 50 to 100 m of the user's base station.

In development of the mobile telephony and the personal communications networks microwave and millimeter-wave links used for transfer of digital signals of low and middle capacities are becoming more and more important. Besides 23 GHz band, established for the links covering 20 km distance, the use of links operating at 38, 55 and 58 GHz, intended for distances shorter than 10 km is becoming widespread.

Development of the microwave technology in the future is directly dependant on demand coming out of wireless communications systems development. Basic problems that microwave engineers have to resolve are related to development of small-sized and low consumption microwave transceivers, which are of low cost, reliable and competitive on the market.

This paper presents an overview of the current state wireless personal communications discussing cellular radio, cordless telephony and wireless data systems. The second part of the paper deals with the point-to-point link, which is the backbone of each wireless communications network.