Dr Branislav M. Todorović,
dipl. inž.
Nenad Kovačević,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

OBJEDINJENE BEŽIČNE TELEKOMUNIKACIJE – SLEDEĆI KORAK U RAZVOJU GLOBALNE PERSONALNE TELEKOMUNIKACIONE MREŽE

UDC: 621.395/.396

Rezime:

Razmatrane su objedinjene bežične telekomunikacije (engl. tetherless) koje obuhvataju sve vrste mobilnih sistema veza (bežična telefonija, radio-pejdžing, ćelijska mobilna telefonija i radio-sistemi za prenos podataka). Ovaj deo telekomunikacione industrije najbrže se razvija, pri čemu je tendencija razvoja usmerena ka realizaciji globalne personalne telekomunikacione mreže (PCN – Personal Communication Network) koja treba da obezbedi globalni pristup korisnicima. U ovom radu prikazana je koncepcija globalne personalne telekomunikacione mreže realizovane kombinacijom postojeće kablovske infrastrukture i objedinjenih bežičnih telekomunikacija.

Ključne reči: telekomunikacije, radio-prenos, mobilni radio-sistemi, radio-mreža.

TETHERLESS COMMUNICATIONS – THE NEXT STEP IN THE DEVELOPMENT OF GLOBAL PERSONAL COMMUNICATION NETWORK

Summary:

Tetherless communications which include all kinds of mobile communication systems (wireless telephony, radio paging, cellular mobile and radio data systems) are considered. Tetherless communications represent the fastest growing segment of telecommunications industry. A principal aim is realization of personal communication network (PCN) which ought to provide global access for all users. The concept of global PCN, realized by the combination of existing cable infrastructure and tetherless communications systems, is discussed.

Key words: telecommunications, radio-transmission, mobile radio systems, radio network.

Uvod

Objedinjene bežične telekomunikacije obuhvataju više telekomunikacionih usluga u okviru kojih se mogu izdvojiti:

- bežični (engl. cordless) telefoni,
- radio-pejdžing,
- ćelijski mobilni telefoni,
- radio-sistemi za prenos podataka (RDS – Radio Data System).

Svaka od pomenutih telekomunikacionih usluga ima svoje potencijalno tržište,

prednosti i ograničenja. Sve one zajedno predstavljaju ogromno tržište objedinjenih bežičnih telekomunikacionih sistema male snage.

Vrste usluga objedinjenih bežičnih telekomunikacionih sistema

Objedinjeni bežični telekomunikacioni sistemi predstavljaju radio-deo personalne telekomunikacione mreže, a sa-

stoje se od pristupnog radio-sistema i većeg broja mobilnih (prenosnih) uređaja male snage (slika 1). Pristupni radio-sistem čini gusta mreža fiksnih radio-terminala koji su povezani optičkim vlaknima i/ili bakarnim vodovima na fiksnu distributivnu mrežu. Prema tome, radio-terminali (bazne stanice) predstavljaju pristupne tačke distributivne mreže. Radio-deo PCN-a omogućava prenos podataka i govora prenosnim uređajima male snage.

U urbanim sredinama antene baznih stanica postavljaju se na pogodnim tačkama (npr. stubovi ulične rasvete) na visini od 5 do 10 m. Takođe, bazne stanice i njihove antene postavljaju se unutar velikih stambenih, poslovnih i industrijskih kompleksa, na aerodromima, železničkim stanicama i svim drugim mestima gde je velika koncentracija ljudi.

Bazne stanice treba da budu raspoređene tako da obezbede kontinualno radio-pokrivanje čitavog regiona (npr. megapolis sa okolinom). Gustina baznih stanica treba da bude određena tako da zadovolji gustinu telekomunikacionog saobraćaja u oblasti koju one pokrivaju.

Objedinjeni bežični telekomunikacioni sistemi omogućavaju razne tipove prenosa govora i podataka. Oni pružaju mogućnost ostvarivanja veze, bilo u neposrednoj okolini mesta u kojem korisnik živi (bežična telefonija), bilo sa udaljene lokacije (mobilna telefonija), pri čemu se vrše sve potrebne radnje vezane za registraciju korisnika u novoj sredini i tarifiranje. Postoji mogućnost prijema poziva na udaljenoj lokaciji, iako je on stigao na njegovu matičnu lokaciju, kao i automatskog poziva u pomoć pritiskom na dugme i niz drugih mrežnih usluga. Pored toga,

Sl. 1 – Pristupni radio-sistem integrisan u fiksnu distributivnu mrežu

moguće je izvršiti prenos poruka putem radio-pejdžinga ili putem INTERNET-a.

Kvalitet pruženih usluga

Bežična i mobilna telefonija generalno važe za radio-sisteme slabog kvaliteta veze, što je posledica korišćenja jeftinih uređaja koji ne mogu zadovoljiti strože kriterijume kvaliteta. Na primer, kod ćelijskog pokrivanja mobilnom radio-vezom, uzimajući u obzir osetljivost prijemnika, radio-propagaciju, kao i smetnje unutar kanala, treba obezbediti da 90% veza u oblasti pokrivanja ima kvalitet iznad minimalno prihvatljivog u vreme najvećeg opterećenja. Mada je ovaj procenat mnogo veći nego kod ranijih mobilnih sistema, ipak ne omogućuje veliki broj kvalitetnih veza kao kod žičnih sistema. Postoji još jedan kriterijum koji se koristi kao mera kvaliteta, a to je procenat blokiranih poziva. U savremenim mobilnim sistemima on iznosi 1 do 2%. Drugim rečima, na svakih 100 pokušaja, u jednom ili dva pokušaja neće biti moguće ostvariti vezu u času najvećeg opterećenja, pri čemu će na svakih 10 uspešnih poziva jedan imati kvalitet manji od propisanog.

Nasuprot mobilnim sistemima, satelitski i radio-relejni sistemi važe za pouzdane i kvalitetne telekomunikacione sisteme, jer im je kvalitet veze zadovoljavajući u 99,9% ili čak u 99,99% vremena.

Objedinjeni bežični telekomunikacioni sistem koji je razmatran u ovom radu ima zadovoljavajući kvalitet usluga u 99% veza, a može biti projektovan i realizovan da zadovolji i strože uslove koji se mogu smatrati podjednako dobrim kao i u žičnim sistemima.

Arhitektura i kontrola sistema

Da bi se ostvario visok kvalitet digitalne radio-veze koriste se metode digitalne obrade signala, realizovane u okviru integrisanih kola posebne namene (ASIC – Application Specific Integrated Circuits). Digitalna obrada signala mora se vršiti tako da se izbegne rasipanje energije koja je dragocena, pogotovo kod mobilnih/prenosnih uređaja. Ako se želi dobar kvalitet uz smanjene troškove, ne mogu se koristiti standardna kola za obradu signala. Arhitektura radio-sistema treba da minimizira potrošnju prenosnog uređaja, tako da bude svedena na maksimalno 100 do 200 mW, što zahteva snagu na predaji reda 10 mW.

Raspored baznih stanica

S obzirom na to da je snaga primopredajnika ograničena veličinom i masom uređaja, domet iznosi od 50 do 1000 m, što zahteva postavljanje guste mreže stanica u naseljenim mestima. Unutar zgrada postavljaju se još gušće trodimenzionalne mreže kako bi se izbeglo slabljenje kroz zidove, i zadovoljio ogroman broj korisnika na malom prostoru. Mreža baznih stanica može biti trougaona, kvadratna, šestougona ili nekog drugog oblika. Zbog velikog broja potrebnih baznih stanica, neophodan frekvencijski opseg mora biti izdvojen na kanale. Isti kanal može da koristi više baznih stanica koje su međusobno dovoljno prostorno razmaknute. Potreban razmak određuje se na osnovu sledećih parametara:

- kvaliteta ostvarene veze u radio-kanalu u prisustvu promenljive istokanalne smetnje sa drugih baznih stanica;
- isplativosti predložene arhitekture u zavisnosti od broja mogućih veza po baznoj stanici;

Sl. 2 – Primer dvodimenzionalnog rasporeda baznih stanica u rezidencijalnoj sredini

– efikasnosti iskorišćenja radio-spektra.

Pošto su ovi parametri međusobno kontradiktorni, potreban je kompromis da bi se odredio razmak dovoljan da više baznih stanica pouzdano koristi isti kanal. Kvalitet radio-kanala može biti poboljšan, bilo smanjivanjem rastojanja između baznih stanica (čime se dobija povećanje margine šuma), bilo povećanjem rastojanja na kome se ponovo može koristiti ista frekvencija (npr. povećava se broj baznih stanica između dve stanice koje koriste istu frekvenciju), čime se smanjuje nivo istokanalne smetnje. Za datu gustinu korisnika ovi činioci višestruko utiču na ekonomičnost i efikasno iskorišćenje spektra. Smanjivanje rastojanja između stanica dovodi do povećavanja njihovog broja, a time i do povećanja cene mreže baznih stanica. Sa druge strane, to bi

dovelo i do smanjenja broja pristupnih veza po jednoj stanici za fiksnu gustinu korisnika, čime je omogućeno povećanje rastojanja ponovnog korišćenja frekvencija bez širenja spektra.

Smanjenje potrebnog frekvencijskog opsega, pri čemu gustina korisnika i zahtevi za kvalitetom ostaju isti, zahteva smanjenje kapaciteta svake bazne stanice, usled čega je potrebno smanjiti rastojanje između njih. Smanjivanje rastojanja između stanica dovodi do povećanja njihovog broja, a samim tim i cene mreže. Zbog očigledne složenosti rešenja i problema da se pronade kompromis, za sada ne postoji generalno rešenje, već se problem rešava od slučaja do slučaja.

Analize i simulacije istokanalne smetnje na računaru pokazuju da kvadratni raspored baznih stanica ima najbolje karakteristike, pri čemu nema velikih

razlika u odnosu na ostale rasporede. Kvadratni raspored je lakši i za realizaciju, pa predstavlja često korišćeno rešenje za mrežu baznih stanica. Moguća realizacija prikazana je na slici 2. Za zatvorene prostore projektuju se kockaste trodimenzionalne strukture, pri čemu se pri određivanju rastojanja između stanica javljaju isti problemi kao kod mreže na otvorenom, i u horizontalnoj i u vertikalnoj ravni.

Modulacija i demodulacija

Pri izboru vrste modulacije treba zadovoljiti određene zahteve. Ukoliko to nije moguće, neophodno je napraviti kompromis. Modulacije sa konstantnom anvelopom signala efikasnije su u pogledu snage i omogućavaju lakšu demodulaciju. Višenivojske modulacije sa promenljivom anvelopom složenije su za realizaciju, ali imaju bolje karakteristike u pogledu efikasnosti iskorišćenja spektra.

Pri izboru vrste modulacije pažnju treba obratiti na efikasno iskorišćenje

spektra. U tom pogledu najpogodnija je 4-QAM modulacija sa Nikvistovim impulsnim odzivom. Ova četvoronivojska modulacija maksimizira spektralnu efikasnost, a ima dobru otpornost na istokanalnu smetnju.

Pri demodulaciji se koriste koherentni postupci, jer za 2,5 do 3 dB daju bolje rezultate u odnosu na diferencijalne postupke. Koherentni postupci demodulacije pokazali su se boljim i pri suzbijanju efekata širenja signala usled višestruke propagacije.

Digitalni protok

Digitalni protok ograničen je širenjem signala usled višestruke propagacije, što je posebno izraženo pri prostiranju unutar zgrada. Adaptivna korekcija ove pojave iziskuje složene komponente i dodatnu potrošnju snage. Moguće rešenje je korišćenje diverziteti tehnika.

Na slici 3 prikazana je verovatnoća greške po bloku bita za slučajeve sa i bez

diverzitija. Prikazani rezultati dobijeni su simulacijom na računaru i u laboratoriji [11]. U prikazanom primeru odabran je protok od 450 kbit/s, a rezultati pokazuju da za ovu vrednost protoka, u slučaju kada se koristi diverziti, verovatnoća greške po bloku bita iznosi manje od 10^{-2} . Ova vrednost verovatnoće greške dobijena je bez dodatne korekcije zbog širenja spektra signala usled višestruke propagacije. Protok od 450 kbit/s može zadovoljiti više multipleksiranih signala govora i prenos podataka. Korišćenjem digitalnih dekodera, koji su pogodni za primenu u prenosnim uređajima, postiže se subjektivno dobar kvalitet prenosa za verovatnoću greške po bloku 0,01 do 0,04. Poboljšanja se postižu i korišćenjem ARC protokola (Automatic Request Control).

Format radio-veze

U objedinjenim bežičnim telekomunikacijama predviđeno je korišćenje višestrukog pristupa na bazi vremenske raspodele kanala (TDMA – Time Division Multiple Access).

Prednosti TDMA su:

- potreban je manji broj primopredajnika za dati broj korisničkih veza, čime su smanjene cena i složenost;
- mogu se dodeljivati različiti protoci, u zavisnosti od zahteva korisnika;
- neiskorišćeni delovi TDMA rama mogu se koristiti za kontrolu kvaliteta drugih kanala, kao i za merenja potrebna za diverziti;
- duplekser na ulazu u primopredajnik može biti realizovan kao običan prekidač;
- potrebno je sintetisati manji broj frekvencija kanala;
- skakanje između kanala obavlja se znatno brže.

U prijemnicima prethodnih generacija dodavana su velika zaglavlja za sinhronizaciju i rekonstrukciju nosioca. Novija rešenja prijemnika, zasnovana na digitalnoj obradi signala, koriste postupak pododmeravanja (oversampling), čime je izbegnuta rekonstrukcija nosioca. Smanjena je i potrošnja, jer se barata brojevima manje preciznosti, pošto su obrada signala i izračunavanja jednostavniji. Zaglavlje svakog vremenskog slota znatno je skraćeno i iznosi 2 do 3 bita. Na direktnoj deonici (prenosna stanica – bazna stanica) koristi se jedna frekvencija, a na povratnoj (bazna stanica – prenosna stanica) druga, pri čemu su one razdvojene nekoliko desetina MHz.

TDMA sa jednom frekvencijom, u okruženju sa velikim brojem korisnika, zahtevao bi tačnu sinhronizaciju faze takta i relativno veliko zaštitno vreme između predaje na direktnoj i povratnoj vezi, da bi se sprečilo „gušenje“ korisnika snažnijim vezama između stanica. Primeenom dvofrekvencijskog TDMA izbegava se složena sinhronizacija faze takta, koja predstavlja veliki problem, naročito kada su bazne stanice pod nadzorom različitih centrala.

Dužina TDMA rama je 16 ms i sadrži 7200 bita. Izabrana dužina rama predstavlja kompromis između povećanog kašnjenja u prenosu i smanjenja procenta koji u ukupnoj dužini rama čini zaglavlje. Ram dužine 16 ms podeljen je na 40 TDMA vremenskih slotova, od kojih svaki sadrži 180 bita. Od ovog broja 128 bita je predviđeno za prenos informacije, 19 za nadgledanje i kontrolu veze, 14 bita se koristi za detekciju greške i vremensku sinhronizaciju slotova, 16 bita je odvojeno za zaštitno vreme na direktnoj vezi, dok se na povratnoj vezi ovi bitovi koriste kao reper za sinhronizaciju rama.

Dva bita koja se nalaze na početku, predviđena su za diferencijalno kodovanje i dekodovanje, čime se otklanja problem nepoznate vrednosti faze pri rekonstrukciji nosioca. Da bi se dopunio broj simbola u vremenskom slotu do celog broja ostavljen je 1 bit, pri čemu se alternativno može koristiti i kao dodatni bit za detekciju greške.

Funkcija svih 19 bita predviđenih za nadgledanje i kontrolu još nije u potpunosti definisana, mada bi 3 do 4 bita trebalo da obezbede razdvajanje između susednih stanica koje koriste isti kanal. Broj kontrolnih bita može biti smanjen na 8, pri čemu je potrebno koristiti ciklično kodovanje, a kontrolna informacija proširena je na više ramova. Šesnaest bita, predviđenih za zaštitno vreme, tako su organizovani da nivo signala jednog frekvencijskog kanala bude oslabljen u susednom kanalu za više od 60 dB.

Sto dvadeset osam bita, koji nose informaciju, čine informacioni protok od 8 kbit/s po kanalu. Na zahtev korisnika mogu se spojiti dva vremenska slota, čime se protok duplira na 16 kbit/s, odnosno u zavisnosti od potrebe, 4 vremenska slota (protok 32 kbit/s). U zavisnosti od potreba ovo multipliciranje može ići do 320 kbit/s. Takođe, moguće je smanjiti protok uzimanjem informacije iz svakog drugog, trećeg, četvrtog ... rama u zavisnosti od potreba.

Važno je primetiti da ne postoje dodatna zaglavlja u TDMA ramu predviđena za sinhronizaciju simbola i rekonstrukciju nosioca. Ove funkcije integrisane su u novim digitalnim tehnikama obrade signala, koje koriste sve bite u vremenskom slotu i omogućavaju smanjenje vremena obrade sa sadašnjih 0,8 ms na 0,4 ms.

Antenski diverziti

Korišćenje antenskog diverzitija u prenosnim radio-sistemima male snage, smanjuje varijacije snage signala na prijemniku usled višestruke propagacije i neodgovarajuće usmerenosti antena na prenosnom uređaju. Smanjenje varijacije snage signala omogućava korišćenje predajnika manje snage, povećanje broja stanica, kao i smanjenje intervala ponovnog korišćenja frekvencija. Antenski diverziti doprinosi povećanju protoka, jer smanjuje verovatnoću greške za dato proširenje signala usled višestruke propagacije (potrebno je da trajanje perioda simbola bude veće od tog širenja).

Merenjem združenog polja ortogonalno polarisanih signala i njihovim razdvajanjem pokazano je da je diverziti neophodan samo u oblastima velikog slabljenja signala. Tada se problemi mogu prevazići postavljanjem dve antene sa različitim polarizacijama na istu lokaciju.

Diverziti tehnika je u standardnim primenama zahtevala postojanje dva prijemnika, što je usložavalo uređaje. U laboratorijskim uslovima pokazano je da se delovi TDMA rama, koji prethode informaciji, mogu iskoristiti za ocenu kvaliteta veze. Tako se sada, prekidačem u okviru prenosnog uređaja, može birati sa koje će antene prijemnik primati signal, u zavisnosti od kvaliteta. Na taj način nestala je potreba za postojanjem dva prijemnika.

Upravljanje sistemom

Najveći problem za razumevanje načina na koji se vrši ponovno korišćenje frekvencija kod prenosnih radio-sistema predstavlja način pristupa, odnosno algoritam koji se koristi za odabir kanala i

baznih stanica. Izbor načina pristupa kanalu ima veliki uticaj na osobine sistema i potrebno rastojanje nakon kojeg se može ponovo koristiti ista frekvencija. Način pristupa obuhvata merenje parametara signala, izbor algoritama koji će se primeniti, kao i raspored kanala i vremenskih slotova. Direktno testiranje raznih načina pristupa nije praktično, pa se upoređivanje načina pristupa vrši simulacijama na računaru, zasnovanim na radio-propagacijskim modelima, dobijenim nakon opsežnih merenja na terenu.

Ranije simulacije na računaru i merenja na terenu pokazali su da se diverzitet može koristiti za smanjenje varijacija snage signala, nastalih usled refleksija o zidove i neravnine terena. Za ove primene koristi se tehnika makroskopskog diverziteta [13]. Postoji mogućnost da se radio-veza, ostvarena preko jedne bazne stanice, prebaci na drugu, ako se na taj način može postići bolji kvalitet veze. Prebacivanje se obavlja pre nego što kvalitet već postojeće veze znatno degradira.

Izražen uticaj smetnji postoji kako na direktnoj, tako i na povratnoj deonici. Na direktnoj deonici on potiče od drugih prenosnih uređaja, pa je samim tim ovaj uticaj složeniji od uticaja smetnji na silaznoj deonici koje potiču od baznih stanica.

Da bi se obezbedilo neprekidno upravljanje sistemom, u okruženju gde snaga signala varira i postoje smetnje, bazne stanice moraju da emituju bar jedan vremenski slot, čak i kada ne opslužuju korisnika. Sinhronizacija vremenskih slotova svih baznih stanica u okviru velikog prenosnog komunikacionog sistema, koji može biti proširen i na regione koje kontroliše neka druga centrala, predstavlja veliki problem.

Zahtevi koje je potrebno ispuniti pri određivanju rastojanja za ponovno korišćenje frekvencija izuzetno su osetljivi na promene uslova propagacije. Pri raspodeli frekvencijskog opsega, mora se voditi računa da određena širina opsega ne bude premala zbog promene uslova propagacije.

Za upravljanje radio-vezom odvojen je po jedan neiskorišćen vremenski slot za svaku radio-vezu, označen kao slot za obaveštenje (engl. paging slot) i sadrži identifikaciju bazne stanice i zonu u kojoj se ona nalazi. Ako su u nekom trenutku na nekoj baznoj stanici svi slotovi zauzeti, nijedan slot za obaveštenje neće biti na raspolaganju, pa će prenosni uređaji morati da potraže slot za obaveštenje susedne stanice. To je sasvim logično, jer radio-veza i ne može biti uspostavljena na drugi način.

Upravljanje radio-veze organizovano je prema prikazanim koracima.

1. Uključivanje prenosnog uređaja:

- prenosni uređaj proverava sve frekvencijske kanale sistema i meri snagu i kvalitet signala. Merenje kvaliteta zasnovano je na merenju otvorenosti dijagrama oka i uključuje degradaciju kvaliteta primljenog signala zbog šuma, smetnje usled širenja signala pri višestrukoj propagaciji, smetnje unutar istog kanala i smetnje iz susednih kanala;

- prenosni uređaj se podešava na frekvencijski kanal sa najvećim odnosom signal/šum+smetnje (SNIR), odnosno na kanal sa najvećom snagom ako je $SNIR > 20$ dB. Nakon toga počinje pretraga vremenskih slotova da bi se pronašao slot za obaveštenje odabranog kanala. Ako za odabrani kanal ne postoji slobodan slot za obaveštenje, prenosni uređaj se prebacuje na frekvencijski kanal koji je drugi po vrednosti odnosa SNIR.

Ako je odnos SNIR za izabrani kanal ispod definisanog praga, veza neće biti uspostavljena;

- prenosni uređaj identifikuje zone u okviru slota za obaveštenje i upoređuje je sa identifikacijom oblasti u kojoj je poslednji put registrovan. Ako je i dalje u istoj zoni prelazi na korak 3.

2. Registracija prenosnog uređaja u novoj zoni.

Ukoliko prenosni uređaj nije u istoj zoni u kojoj je poslednji put registrovan, potrebno je izvršiti njegovu registraciju koja se vrši na jedan od sledeća dva načina:

- korisnički upravljana registracija vrši se tako što prenosni uređaj (zvonjavom, vibracijama, ...) obaveštava korisnika da nije registrovan u zoni u kojoj se nalazi, a korisnik komandom zadaje da se izvrši registracija;

- automatska registracija odvija se na isti način kao korisnički upravljana, samo u ovom slučaju nije potrebna intervencija korisnika. Prenosni uređaj emituje svoj broj adresiran na baznu stanicu koja je izabrana. Kao odgovor na registraciju prenosnom uređaju trebalo bi da stigne slot za obaveštenje, a ako ne stigne na vreme prenosni uređaj pokušava ponovo 5 do 10 puta. Ukoliko ni nakon određenog broja pokušaja ne dobije odgovor, prenosni uređaj se prebacuje na prvi sledeći (po vrednosti odnosa SNIR) kanal, tj. baznu stanicu, i ponovo pokušava registraciju. Ako se ni nakon 4 do 5 promena kanala ne obavi registracija, na displeju se pojavi „veza nije na raspolaganju“.

3. Čekanje na signal dozvole:

- prenosni uređaj „čvrsto“ drži sinhronizaciju sa primljenim slotom za obaveštenje i očekuje signal dozvole kao odgovor na svoju identifikaciju. Da bi se

uštedela snaga baterija, signal dozvole stiže u tačno određenim trenucima, sinhronizovano sa slotom za obaveštenje, tako da uređaj nije sve vreme uključen. Na taj način baterija se štedi a vreme uspostavljanja veze neznatno produžava;

- prenosni uređaj čeka sve dok kvalitet primljenog signala ne bude dovoljan da omogući pouzdanu detekciju. Ako nivo primljenog signala dozvole padne ispod praga, ceo postupak se ponavlja od početka.

4. Uspostavljanje radio-veze za poziv.

Prenosni uređaj uspostavlja vezu, bilo da korisnik započinje poziv ili odgovara na poziv drugog korisnika na sledeći način:

- prenosni uređaj proverava sve frekvencijske kanale, na način koji je opisan pod tačkom 1, i određuje koji slobodni kanal ima najbolji kvalitet;

- prenosni uređaj šalje poruku baznoj stanici da želi da uspostavi vezu. Poruka obuhvata: identifikacioni broj stanice; identifikacioni broj korisnika; broj potrebnih vremenskih slotova; podatak o tome šta će se prenositi (govor ili podaci) i u kom obliku (način obrade, kodovanje, ...);

- po prijemu poruke, kontroler u baznoj stanici preko izdvojenog kanala dobija podatke o korisniku (profil i ključ za kodovanje) iz baze podataka;

- prenosni uređaj i bazna stanica razmenjuju kratke poruke da bi se potvrdila dodela vremenskih slotova i sinhronizacija;

- prenosni uređaj i bazna stanica razmenjuju poruke o kodovanju i sinhronizaciji i uspostavljaju vezu. U slučaju da ključ za kodovanje nije odgovarajući, veza automatski neće biti uspostavljena. Ključ za kodovanje se nikad ne šalje

radio-vezom, već žičnom mrežom za signalizaciju između stanica. Na taj način ostvaruje se zaštita mreže i usluga od neovlašćenih korisnika.

5. Održavanje radio-veze.

Nakon uspostavljanja radio-veze, neophodno je njeno neprekidno nadgledanje, jer se signali smetnje neprekidno menjaju, jedne prestaju sa radom, druge počinju, neke menjaju lokaciju. Da bi se održao kvalitet jedne radio-veze potrebno je prelaženje sa jednog vremenskog slota na drugi, kao i sa jedne bazne stanice na drugu:

- bazne stanice neprekidno mere odnos SNIR i nivo snage za svaki vremenski slot, na osnovu čega se procenjuje nivo signala i slabljenja. Čim nivo signala padne ispod određene vrednosti, vrši se preraspodela vremenskih slotova. Bazna stanica će poslati poruku o promeni slota u okviru vremenskog slota predviđenog za kontrolu sistema;

- prenosni uređaj menja kanal na taj način što brzo prelazi na novi kanal u trenucima kada ne vrši predaju, prijem ili merenje kvaliteta. Za radio-vezu kapaciteta 32 kbit/s prenosni uređaj može, ako je to potrebno, da promeni 14 frekvencijskih kanala za vreme trajanja jednog rama;

- postoji mogućnost da se radio-veza prebaci na drugu baznu stanicu u slučaju da kanal koji ima znatno bolji odnos SNIR postane raspoloživ. Stara veza se napušta tek kada se nova uspostavi.

Potreban frekvencijski opseg

Za ovaj sistem predloženo je korišćenje frekvencija u opsegu od 0,5 do 5 GHz, pri čemu je najpogodniji podopseg od 1 do 3 GHz. Da bi se odredila po-

trebna širina opsega, treba napraviti kompromis između sledećih zahteva:

- kvaliteta radio-kanala u prisustvu istokanalne smetnje,
- ekonomičnosti arhitekture sistema,
- efikasnosti iskorišćenja radio-spektra.

Ukupni frekvencijski opseg za ovakve sisteme male snage treba da bude 60 MHz, prema predlogu ITU-R, i podeljen na dve sredine: rezidencijalnu sredinu (primer okruženja sa malom gustinom korisnika); poslovno-tržni centar (primer sredine sa ekstremno velikom gustinom korisnika).

Rezidencijalna sredina predstavlja nastanjenu oblast sa porodičnim kućama. Tipična gustina korisnika za urbane ili gusto naseljene suburbane sredine je 1500 kuća na km². Ako se usvoji da je razmak između baznih stanica 600 m, gustina korisnika po stanici iznosi oko 550 kuća na stanici. Pretpostavlja se da ni nekoliko godina po puštanju sistema u radu neće sve kuće biti korisnici. Početne procene kreću se oko 25%, što predstavlja oko 140 korisnika na stanici. Broj korisnika po vezi može se odrediti iz verovatnoće blokiranja na osnovu teorije čekanja u telefonskom saobraćaju. Potrebno je da korisnički saobraćaj bude poznat i stabilan, jer se često dešava da male grupe korisnika imaju velike fluktuacije u pogledu saobraćaja. Proračun koji je urađen za verovatnoću blokiranja od 1% i tipičan intenzitet saobraćaja od 0,6 Erlanga po korisniku, pokazuje da je za opsluživanje 140 korisnika potrebno 16 ili 17 veza, odnosno 8 korisnika po vezi. Međutim, u realnim uslovima gustina korisnika treba da bude još manja kako bi se smanjila verovatnoća blokiranja, tako da

stvarna gustina iznosi oko 5 korisnika po vezi (odnosno 28 korisnika po stanici).

U slučaju poslovno-tržnog centra znatno je povećana gustina korisnika. Procenjuje se da je prosečna površina sprata centra $60\text{ m} \times 60\text{ m} = 3600\text{ m}^2$, pri čemu svaki korisnik zauzima oko 9 m^2 , što daje gustinu od 400 korisnika po spratu. Zbog velike gustine i malog prostora u ovom slučaju neće biti moguće ponovno korišćenje frekvencija. Proračuni su pokazali da je za tipičan poslovno-tržni centar potrebno oko 400 veza po zgradi, pri čemu se one ponavljaju na svaka tri sprata (ponovno korišćenje frekvencija organizovano je u vertikalnoj ravni).

Umesto zaključka

Brzo povećanje broja korisnika bežičnih telekomunikacija i proširenje njihovih zahteva u pogledu kapaciteta i kvaliteta usluge pokazalo je da je potrebno realizovati personalnu telekomunikacionu mrežu koja predstavlja objedinjene bežične telekomunikacije, zasnovane na korišćenju digitalnih radio-sistema male snage. Na taj način omogućiće se kvalitetna telekomunikaciona usluga sa bilo kog mesta koje se nalazi u mreži.

Mogući način za realizaciju ovakve personalne telekomunikacione mreže predstavlja korišćenje TDMA arhitekture

radio-veze, inteligentno upravljanje radio-frekvencijskim kanalom i dodela vremenskih slotova. Primena tehnike digitalne obrade signala omogućava nisku cenu, visok kvalitet veze i efikasno iskorišćenje spektra.

Literatura:

- [1] Cox, D. C.: Portable Digital Radio Communications – An Approach to Tetherless Access, IEEE Communication Magazine, July 1989, pp. 30–40.
- [2] Cox, D. C.: Universal Digital Portable Radio Communications, Proc. IEEE, Vol. 75, April 1987, pp. 436–477.
- [3] Cox, D. C., Arnold, H. W., Porter, P. T.: Universal Digital Portable Communications: A System Perspective, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-5, June 1987, pp. 764–773.
- [4] Cox, D. C.: Universal Portable Radio Communications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-34, August 1985, pp. 117–121.
- [5] Steele, R.: The Cellular Environment of Lightweight Handheld Portables, IEEE Communications Magazine, July 1989, pp. 20–29.
- [6] Quigley, P.: WLL: Dial – Tone for the Masses, Eastern European Wireless Communications, Vol. 1, No. 2, October–November 1998, pp. 17–22.
- [7] Lomer, G. J.: Telephoning on the Move – Dick Tracy to Captain Kirk, IEE Proc., Vol. 134, Pt. F., February 1987, pp. 1–8.
- [8] Quigley P.: Telling the Truth about Mobile Data, Mobile Europe, vol. 8, No. 9, October 1998, pp. 19–20.
- [9] Anderson, J. B., Aulin, T., Sundberg, C. E.: Digital Phase Modulation, Plenum, New York, 1986.
- [10] Akaiwa, Y., Nagata, Y.: Highly Efficient Digital Mobile Communications with a Linear Modulation Method, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-5, June 1987, pp. 890–895.
- [11] Chuang, J. C.-I., Sollenberger, N. R.: A High Performance Diversity Selection Technique for TDMA Portable Radio Communications, Proc. of IEEE GLOBECOM '89, Dallas, TX, November 1989, pp. 27–30.
- [12] Faoro, F.: Advanced Network Planning, Cellular&Mobile International, Vol. 8, No. 8, September 1998, pp. 30–34.
- [13] Bernhardt, R. C.: User Access in Portable Radio Systems in a Co-channel Interference Environment, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-7, January 1989, pp. 49–58.