

Milan Lazarević,
pukovnik
Jovan Bajcetic,
potporučnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsjek logistike,
Beograd

POREĐENJE KARAKTERISTIKA I MOGUCNOSTI BUDUCEG SERVISIA U MIKROTALASNOM PODRUCJU I MOBILNIH SISTEMA TRECE GENERACIJE

UDC: 621.396.21 : 621.3.0 14.2

Rezime:

Znacaj i izuzetno brz razvoj telekomunikacija nameće neprekidno izučavanje i primenu novih servisa i novih postupaka integracije i komutacije u njemu. Od komercijalnih radio-servisa koji su trenutno dostupni u našoj zemlji, najveći deo je iz sistema javne mobilne telefonije. U radu je prikazana organizacija i način funkcionisanja mobilnog komutacionog sistema i njegovo mesto i značaj u sistemu veze Srbije. Detaljno je obraden WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) servis mobilne telefonije i analizirane njegove prednosti i nedostaci u odnosu na mobilni servis 3G (treće generacije). Predložena je implementacija WiMAX-a u savremen sistem telekomunikacija.

Ključne reči: mobilni komutacioni sistemi, WiMAX servis mobilne telefonije, mobilni servis 3G, implementacija WiMAX-a u sistem telekomunikacija.

THE COMPARISON OF CHARACTERISTICS AND OPPORTUNITIES OF FUTURE SERVICE IN MICROWAVE BAND AND MOBILE SYSTEMS THIRD GENERATION

Summary:

The importance and very quick development of telecommunications ask for endless research and applying new services and new methods of integration and switching in it. Among commercial radio services that are at the moment accessible in our state, the most significant part is from public mobile telephony system. In this work we presented organization and way of functioning of mobile switching system and their place and importance in Serbian system of communications. WiMAX service of mobile telephony is processed in details and advantages and disadvantages versus 3G mobile service are analyzed. The suggestion of implementation of WiMAX in modern system of telecommunications is given.

Key words: mobile switching systems, WiMAX service of mobile telephony, 3G mobile service, implementation of WiMAX in system of telecommunications.

Uvod

Sistem veza jedan je od servisa za zadovoljavanje potreba iz oblasti nauke, kulture, obrazovanja, zdravstva i svih drugih oblasti života. Putem satelita i internet mreže sve navedene potrebe mogu se ostvarivati ulaskom u međunarodni sistem veza. Sve brži protok podataka omogućuje prenos informacija u realnom vremenu [1].

Manje razvijene zemlje su u ogromnom zaostatku u pogledu opštedostupnih komunikacionih sistema, pogotovo onih u okvirima prenosa informacija radio-putem. Razvoj savremene tehnologije uvek je bilo teško pratiti. Svako uvođenje nove tehnologije u komercijalnu upotrebu zahteva, pored skupe opreme, i veoma skupu licencu za korišćenje. Od komercijalnih radio-servisa koji su trenutno dostupni u našoj

zemlji najveći deo proizilazi iz sistema javne mobilne telefonije. Pored ovakvog tipa ostvarivanja bežičnih komunikacija, u budućnosti se otvara mogućnost za neki drugi tip ostvarivanja radio-veza koji može pružiti veću finansijsku dobit i prednost u vidu kvaliteta servisa koji pruža. Taj potencijalni sistem je mobilni WiMAX, budući servis u mikrotalasnom području.

Dok se mobilni WiMAX standard razvijao, proizvođači su uveliko unapređivali opremu proizvedenu na osnovu standarda 802.16e. Mobilni WiMAX već je postao dostupan za komercijalnu upotrebu u nekoliko zemalja zapadne Evrope. Postavlja se pitanje da li će u odnosu na 3G mobilnu telefoniju ovaj tip prenosa signala biti u prednosti ili ne. Odgovor na ovo pitanje dobije se uporednom analizom jednog i drugog bežičnog sistema. U ovom radu predstavice se karakteristike jednog i drugog sistema radi njihovog upoređenja. Veći deo rada posvećen je mobilnom WiMAX sistemskom profilu, čije su osnovne karakteristike u ovdašnjim krugovima manje poznate.

Pretpostavka je da će se u okviru dugoročnog plana telekomunikacionih usluga u Srbiji, pored trenutno aktuelnih pilot-programa 3G mobilne telefonije, šira javnost vrlo brzo upoznati sa mogućnostima mobilnog WiMAX-a. Na taj način biće premošćen jaz između sadašnje, donekle zaostale tehnologije u sistemu javne mobilne telefonije i najmodemijih komercijalnih radio-sistema.

Sistem javne mobilne telefonije

Sistem javne mobilne telefonije deo je telekomunikacionog sistema koji, u poređenju sa fiksnim sistemom, ima brzu

i jednostavnu instalaciju, a ulaganja su postepena i relativno mala. Savremene javne mobilne telekomunikacije omogućavaju ne samo mobilnost korisnika, već i veliki broj usluga i korišćenje raznih servisa. Mobilni sistemi ubrzavaju izgradnju telefonskog sistema u nerazvijenim zemljama i dopunjavaju razvoj postojeće fiksne telefonske mreže.

Zacetak digitalne mobilne telefonije na prostorima Srbije vezuje se za uvođenje globalnog sistema za mobilne komunikacije – GSM (Global System for Mobile Communications). Digitalna javna mobilna telefonska mreža GSM 900 u Srbiji je puštena u rad 1996. godine. Usluge mobilnih telekomunikacija u svetu i Srbiji danas predstavljaju osnovne personalne telekomunikacione usluge [1].

Razvijenost globalne mobilne mreže ogleda se u činjenici da postoji 296 GSM mreža u 114 zemalja u svetu sa oko 138 miliona korisnika. GSM trenutno zauzima 49% svetskog tržišta, a u Nemačkoj je najveći broj korisnika ovog sistema. „TIM“ (Italija) je najveća GSM mreža, sa oko 15 miliona korisnika. Pored GSM mobilnih sistema, neke evropske zemlje podigle su svoje sisteme na nivo treće generacije mobilne telefonije. I u Srbiji su sada omogućeni protoci podataka koji omogućavaju sigurnu vezu putem interneta, uz pomoć opšteg radio-servisa baziranog na paketskoj komutaciji GPRS-a (General Packet Radio Service).

Karakteristike mobilnog globalnog sistema (GSM)

Globalni sistem mobilne komunikacije ima radio-kanal širine 200 kHz sa osam vremenskih slotova od 0,577 ms, ukupno 125 dupleksnih radio-kanala.

Frekvencijski opseg na kojem se ostvaruje veza u mobilnoj telefoniji je od 890 do 960 MHz, i to:

– uzlazne veze (uplink), mobilna → bazna stanica, 890 do 915 MHz,

– silazne veze (downlink), bazna → mobilna stanica, 935 do 960 MHz.

Velicina celija, odnosno prostor u kojem se omogućuje veza u okviru jedne bazne stanice, kreće se od maksimalno 35 km do minimalno 1 km u prečniku. Tipične vrednosti su oko 10 km u ruralnoj sredini, odnosno 3 do 5 km u urbanoj sredini.

Sistem ima visoku opštu imunost na smetnje. Karakteriše ga brzo preuzimanje mobilne stanice koja se kreće iz jedne u drugu celiju, odnosno prelazi na lokaciju druge bazne stanice (handover). Posедуje veliki broj različitih korisničkih radio-servisa i usluga: za prenos govora, za prenos podataka i dodatne informacione servise. Ima dobru frekventnu rasprostranjenost, što omogućava da dve celije mogu koristiti istu grupu frekvencija ukoliko između njih postoji dovoljna udaljenost (frequency reuse). Omogućava prelazak mobilne stanice iz jedne nacionalne mobilne mreže u drugu nacionalnu mobilnu mrežu – roaming (Roaming). To se, pre svega, odnosi na sve širu dostupnost mobilnih usluga uopšte – na velikom delu teritorije, u svako vreme i skoro u svim uslovima. Rasprostranjene su, pre svega, govorne interaktivne međukorisničke usluge, ali sve više i druge usluge koje omogućavaju pristup internet sadržajima velikim brzinama.

Mobilna stanica (MS) jeste element mobilnog sistema preko kojeg korisnik pristupa mreži. Sastoji se od mobilne opreme – aparata (Mobile Equipment) i SIM kartice (Subscriber Identity Module). Svaka MS ima svoj broj identifikacije [1]. Nova

generacija mobilnih uređaja i sistem 3G (treća generacija mobilne telefonije) omogućavaju bežični pristup internetu brzinama koje dozvoljavaju simultani prenos pokretne slike, glasa i podataka.

Bazna stanica RBS (Radio Base Station) ključni je element globalnog mobilnog sistema. To je jedinstveni naziv za lokaciju na kojoj se nalaze primopredajni radio-uređaji i odgovarajuća telekomunikaciona oprema, koja služi za povezivanje bazne stanice sa ostalim delovima javne mobilne telekomunikacione mreže. Njihov domet kreće se od tridesetak kilometara u ruralnom do nekoliko kilometara u gradskom području.

Kontrolor baznih stanica, BSC (Base Station Control) zasebni je element koji kontroliše više baznih stanica (RBS). On vrši administraciju celije i njenih radio-kanala tako što neprestano sakuplja podatke o statistici broja poziva i uspešnosti prebacivanja poziva u drugi radio-kanal RBS.

Komutacioni sistem (Switching System) omogućava prenos poziva, podataka, govora, paketski prenos, kontrolu saobraćaja, analizu brojeva, tarifiranje, statistiku pozivanja i uključivanje u globalnu mrežu (internet). Pored mobilne i bazne stanice mobilni komutacioni sistemi imaju sledeće elemente:

– komutacioni centar mobilnih servisa, MSC (Mobile Switched Centre), koji obavlja celu komutaciju, signalizaciju i funkcije obrade za mobilne stanice;

– sistem za registrovanje i servisiranje na određenoj lokaciji, VLR (Visitor Location Register);

– centar koji obavlja funkcije sigurnosti, AUC (Authentication Centre);

– centar za bazu podataka zadužen za proveru ispravnosti MS-a (Equipment Identity Register);

– deo sistema za komutaciju podataka u okviru GSM-a, GIWU (GSM Interworking Unit).

U Srbiji je krajem 2005. godine oko 3,6 miliona ljudi koristilo usluge mobilnih telekomunikacija, što znaci da je mobilna telefonija dostigla nivo od oko 46% korisnika (u odnosu na nominalan broj stanovnika od 7,5 miliona). S obzirom na to da je u razvijenim zemljama zapadne Evrope zastupljenost mobilne telefonije premašila brojku od 50% (Nemacka 71,6%, Austrija 84,0%, Italija 92,1%), a takode i u zemljama kao što su Hrvatska 54,2%, Madarska 74,1%, Ceška 87,1%, Slovenija 87,2%, jasno je da na prostoru Srbije treba ocekivati povecanje broja korisnika mobilnih telekomunikacija [1].

Sem osnovnog servisa, u mobilnoj telefoniji Srbije postoje i drugi servisi: servis za mobilnu komutaciju putem poruka, SMS (Switched Messaging Service); virtualna privatna mreža, VPN (Virtual Private Network); servis multimedijalnih poruka, MMS (Multimedia Messaging Service); protokol bežicnih aplikacija, WAP (Wireless Application Protocol); Internet; Roaming; Voice Mail. Postojeci operatori mobilne telefonije istovremeno obezbeđuju širokopojasni pristup internetu korišćenjem tehnologija za opšti radio-servis baziran na paketskoj komutaciji, GPRS (General Packet Radio Service) i poboljšani protok podataka za GSM evoluciju, EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) koji se u našoj zemlji vrlo sporo uvodi u korišćenje.

U celom svetu od skoro je pocelo svestrano uvođenje 3G mobilnih sistema kao

naslednika EDGE tehnologije. On je pokazao veliku komercijalnu upotrebljivost na osnovu široke palete servisa koje korisnici eksploatišu isključivo na osnovu višestrukog pristupa kodnom raspodelom kanala, CDMA (Code Division Multiple Access).

Dve su osnovne varijante CDMA koje se danas koriste. To su višestruki pristup širokopojasnom kodnom raspodelom kanala, WCDMA (Wide Code Division Multiple Access) na bazi dupleks frekvencijske raspodele kanala (FDD Frequency Division Duplex) sa širinom kanala od 5 MHz i CDMA2000, na istoj bazi, sa kanalima širine 1,25 MHz. Da bi se povecao kapacitet downlinka 3G sistema, ugraden je dodatak u vidu pristupa paketima podataka downlinkom velike brzine (HSDPA-High Speed Downlink Data Packet Access) za WCDMA. Kasnije poboljšanje pristupom paketima podataka uplinkom velike brzine (HSUPA – High-Speed Uplink Data Packet Access) povecava kvalitet uplinka. Iste promene i poboljšanja ucinjena su za CDMA2000, gde novi standard EVDO (EVDO-EVolution Data Optimized) donosi znacajan napredak saobraćaju. Novi sistem 3G takode koristi poboljšanje WCDMA vezano za MIMO (Multiple Input Multiple Output) sa HSDPA.

Mobilni sistem WiMAX

Mobilni WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) predstavlja prilicno dobro rešenje za mobilne i fiksne ucesnike na širokom prostoru i vezom putem radio-talasa i sa veoma fleksibilnom arhitekturom. Mobilni sistem WiMAX koristi višestruki pristup frekvencijskoj ras-

podeli kanala pomoću ortogonalnih nosilaca, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), radi poboljšanja pojava koje karakteriše višestruko prostiranje talasa u uslovima bez postojanja optičke vidljivosti. Višestruki pristup skalabilnoj frekvencijskoj raspodeli kanala pomoću ortogonalnih nosilaca SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access) uveden je u standard IEEE 802.16e radi podešavanja širine kanala od 1,25 MHz do 20 MHz.

Standard IEEE 802.16e definiše sve ono što je potrebno da zadovolji mobilni WiMAX sistem kako bi bio funkcionalan na multinacionalnom nivou gde je potrebno usaglasiti i najsitnije detalje pri ostvarivanju ovakvog komercijalnog i svima dostupnog bežičnog sistema.

Da bi sistemski profil bio u potpunosti funkcionalan, mora biti sertifikovan i interoperabilan (standardizovan). Mobilni sistemski profili omogućavaju mobilnim sistemima da budu fleksibilni po pitanju infrastrukture koja bi se koristila i koja bi uključivala raznovrsne tipove terminala i baznih međusobno interoperabilnih stanica. Neki elementi profila vezani za bazne stanice bili bi opcioni da bi omogućili dodatnu fleksibilnost po pitanju zahteva, kao što su kapacitet, konfiguracija ili prostorna pokrivenost.

Prvi set mobilnog WiMAX standarda definiše širine kanala od 5,7 MHz, 8,75 MHz i 10 MHz na frekvencijama od 2,3 GHz, 2,5 GHz i 3,5 GHz. Mobilni WiMAX sistemi nude rešenja vezana za tehnologiju radio-pristupa i mrežne arhitekture, uvažavajući fleksibilnost u organizaciji mreže i ponudi servisa. Neke od istaknutih mogućnosti mobilnog WiMAX-a su:

– *veliki protoci*: uvođenje tehnologije MIMO antenskih sistema sa fleksibilnim upravljanjem spektralnim resursima koristeći SOFDMA, kao i unapređen sistem kodovanja koji omogućava najviši downlink (DL) protok od 63 Mb/s, a uplink (UL) protok od 28 Mb/s po sektoru za kanal od 10 MHz;

– *kvalitet servisa (QoS)*: najbitnija stavka IEEE 802.16, kontrola pristupa medijumu, MAC (Media Access Control) arhitekture je QoS (Quality of Service). QoS definiše servisne protoke koji mapiraju diferencijalni servis (DiffServ – Differentiated Services) kodovne tace ili MPLS (Multi Protocol Label Switching) labela koje omogućavaju IP (Internet Protokol) baziranu vezu s kraja na kraj. Još jedna pogodnost je potkanalizacija i MAP (Media Access Protokol) bazirana šema signalizacije koja omogućava fleksibilan raspored prostornih, vremenskih i frekvencijskih resursa na krajnjim interfejsima na bazi sistema „ram po ram“;

– *skalabilnost*: uprkos velikom napretku globalne ekonomije, spektralni resursi širom sveta su i dalje ostali na istom nivou. Da bi se postigla harmonizacija korisničkih zahteva iskorišćavanja elektromagnetnog spektra na duži period, mobilni WiMAX koristi kanale od 1,25 MHz do 20 MHz. To omogućava bolje osmišljavanje strategije uvođenja ovog bežičnog sistema budućim provajderima, imajući u vidu geografski položaj i kontradiktorne zahteve u pogledu pristupa internetu iz ruralnih sredina, nasuprot velikom opterećenju u urbanim sredinama;

– *bezbednost*: mogućnosti zaštite koje sadrži mobilni WiMAX najbolje su

u klasi i sadrže EAP (Extensible Authentication Protocol) baziranu autentifikaciju, AES-CCM (Advanced Encryption Standard – Counter with Cipher-block chaining Message authentication code) baziranu autentifikovanu enkripciju i CMAC (block Cipher-based Message Authentication Code) i HMAC (keyed Hash Message Authentication Code) bazirane šeme zaštite kontrolnih poruka. Da bi se ove aplikacije mogle koristiti, potrebni su: pretplatnički identifikacioni modul, SIM/USIM (Subscriber Identity Module/Username SIM) kartice, „pametne“ kartice, digitalni sertifikati i username/password način pristupa baziran na EAP (Ehtensible Authentication Protocol) metodama za autentifikovan pristup;

– *mobilnost*: mobilni WiMAX omogućava optimiziran handover (prelaz iz celije u celiju bez prekida veze) koji ne traje duže od 50 ms. Zahvaljujući ovakvom tipu handovera moguć je prenos glasa uz pomoć IP protokola, VoIP (Voice over IP) bez degradacije kvaliteta. Fleksibilna šema korišćenja ključa omogućava zaštitu i tokom handovera [2].

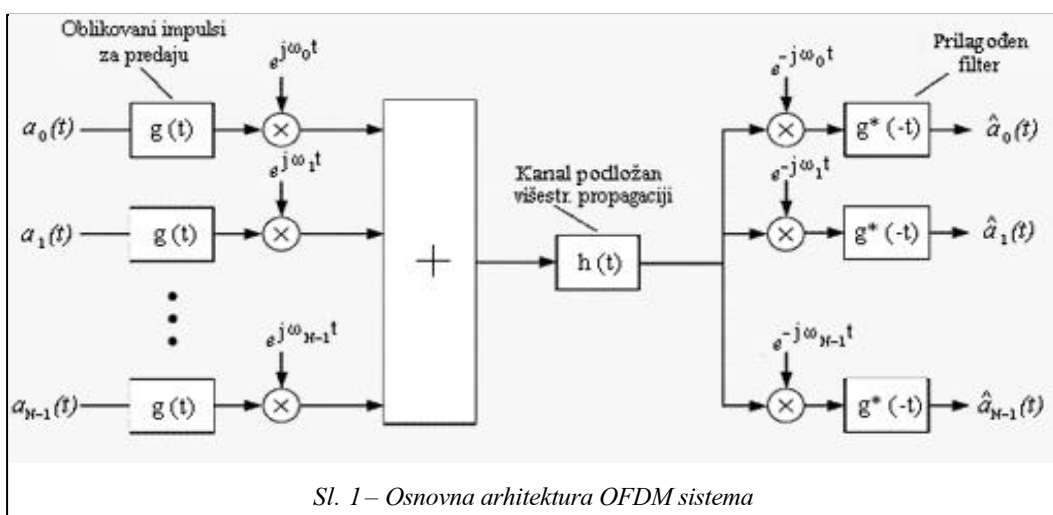
Opis fizickog sloja

Osnove OFDM tehnike multipleksiranja

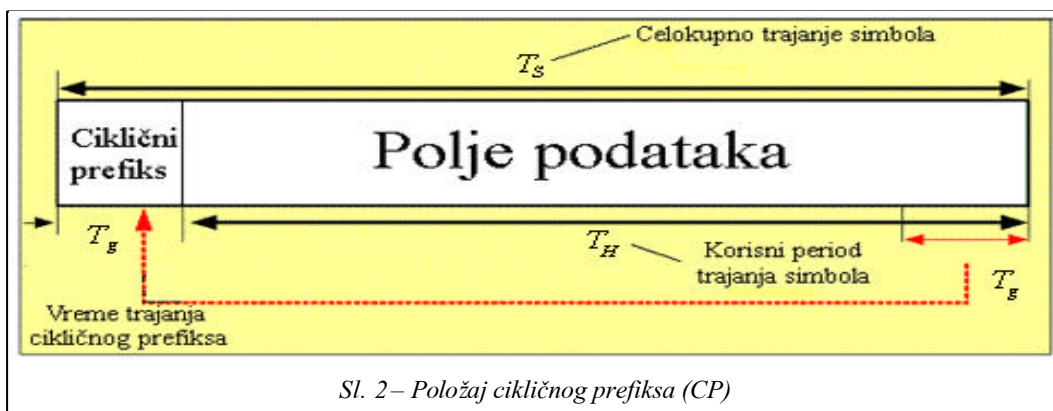
OFDM je tehnika multipleksiranja koja deli opseg od interesa na mnogo nosilaca (slika 1). Po OFDM tehnici, ulazni tok podataka podeljen je na nekoliko paralelnih tokova čiji je protok redukovan i svaki od njih se na poseban način moduliše i emituje po posebnom ortogonalnom nosiocu.

Povećanje trajanja simbola povećava otpornost OFDM na smetnje i kašnjenje. Šta više, uvođenje cikličnog prefiksa, CP (Cyclic Prefix), u potpunosti može eliminisati pojavu intersimbolske interferencije sve dok je njegovo trajanje duže od trajanja vremena između pristizanja dva ista simbola usled višestruke propagacije (delay spread). Ciklični prefiks je obično ponovljen poslednji deo bloka podataka (slika 2) koji je pridružen sledećem bloku podataka.

Ciklični prefiks onemogućava interblok interferenciju, daje utisak da su kanali cirkularni i dozvoljava izjednačavanje u frekvencijskom domenu radi manje složenosti



Sl. 1 – Osnovna arhitektura OFDM sistema



upotrebe frekvencija od interesa. Osnovna mana CP-a je smanjenost spektralne efikasnosti usled dodatka informacije. Bez obzira na ovu manu, uticaj CP-a je sličan roll-off faktoru B u sistemima sa kosinusnim filterima i jednim nosiocem. Pošto OFDM ima oštar, skoro vertikalalan spektar, ostatak slobodnog područja može se iskoristiti za prenos podataka koji se koriste radi poboljšanja efikasnosti cikličnog prefiksa.

Da bi se prevazišlo višestruko proširanje, kod OFDM tehnike koristi se interleaving („učestljavanje“) i kodiranje. Modulacija se realizuje pomoću inverzne Furijeove transformacije na osnovu velikog broja potkanala koje koristi (2048). Resursi se eksploatišu kroz vreme u po-

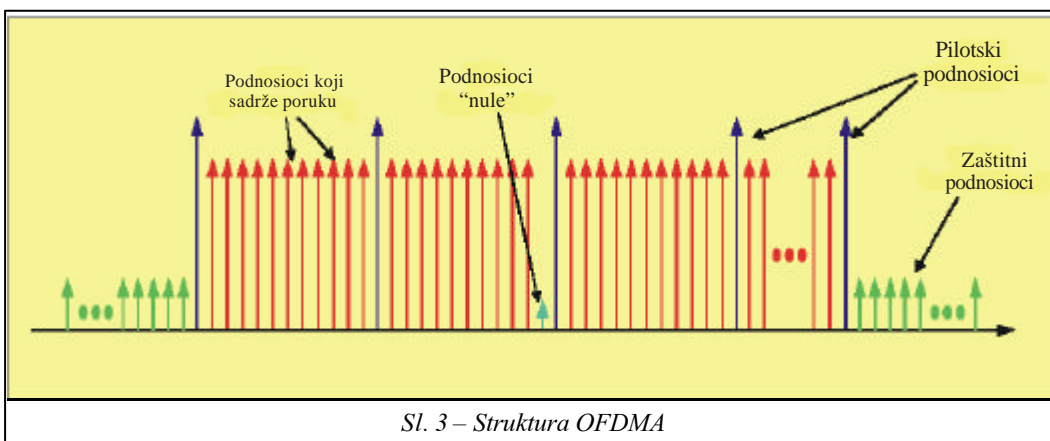
gledu OFDM simbola i kroz frekvenciju u pogledu podnosilaca. Oni se mogu podeliti po podopsezima da bi mogli biti dodeljeni različitim korisnicima.

OFDMA je tehnika multipleksiranja (višestrukog pristupa) koja obezbeđuje operaciju slaganja više tokova podataka (streams) za više korisnika u istom trenutku za downlink i uplink.

Struktura OFDMA i potkanalizacija

Struktura OFDMA sastoji se iz tri tipa podnosilaca, kao što je prikazano na slici 3:

- podnosioci koji nose informaciju;
- pilotski podnosioci za procenu stanja trase i sinhronizaciju;



– podnosioci „nule“ koji služe za razdvajanje grupa informacionih kanala.

Aktivni podnosioci (informacioni i pilotski) grupisani su u potkanale. Fizicki sloj WiMAX OFDMA podržava potkanalizaciju i u uplinku i u downlinku [3].

Minimalna resursna jedinica potkanalizacije je jedan slot koji se sastoji od 48 informacionih podnosilaca. Postoje dva nacina grupisanja podnosilaca u potkanale – diverziti i granicna metoda.

Diverziti metoda raspoređuje podnosiocce po potkanalima pseudoslucajno. Na taj nacin stvaraju se frekvencijski diverziti i ujednacavanje intercelijske interferencije. Diverziti permutacija sastoji se od DL FUSC (Fully Used Sub-Carrier – u potpunosti iskorišćen podnosilac), DL PUSC (Partially Used Sub-Carrier – delimično iskorišćen podnosilac) i UL PUSC, ali sadrži i dodatne permutacije. Kod DL PUSC za svaki par OFDM simbola, raspoloživi i korisni podnosioci grupisani su u klaster, koji sadrže 14 granicnih podnosilaca po simbolu. Imaju razlicit razmeštaj pilota i informacionih nosilaca u svakom od klastera određenih na osnovu parnih i neparnih simbola.

Da bi se formirale grupe klastera koriste se šeme gde je svaka od grupa sacinjena od klastera raspoređenih u okviru opsega podnosilaca. Potkanal u grupi sadrži dva klastera, sacinjena od 48 informacionih podnosilaca i 8 pilotskih podnosilaca. Informacioni podnosioci svake grupe dalje su permutovani tako da stvaraju potkanale u okviru grupe. Informacioni podnosioci u klasteru podeljeni su na više potkanala.

Analogno strukturi downlink klastera, definisana je struktura za UL PUSC. Raspoloživi opseg je raspodeljen na šest opsega izabranih iz citavog spektra na osnovu šeme rearanžiranja i permutacije koji cine slot.

Slot sadrži 48 informacionih podnosilaca i 24 pilota u 3 OFDM simbola [4].

Granicna permutacija grupiše podnosiocce u blokove i na taj nacin stvara potkanale. Granicna šema permutovanja takode ukljucuje DL i UL adaptivnu modulaciju i kodiranje, AMC (Adaptive Modulation and Coding) i ima istu strukturu. Blok se sastoji od 9 kontinualnih podnosilaca po simbolu (8 informacionih i 1 pilot). Slot kod AMC definisan je kao skup blokova istog tipa ($N \times M = 6$) gde je N broj granicnih blokova, a M je broj granicnih simbola. Dozvoljene kombinacije su: 6 blokova i 1 simbol, 3 bloka i 2 simbola, 2 bloka i 3 simbola i 1 blok i 6 simbola. AMC dozvoljava diverziti ostvaren zahvaljujuci velikom broju raspoloživih kanala (Multi-user Diversity) birajuci kanal sa najboljim trenutnim karakteristikama.

Može se zakljuciti da su se diverziti permutacije pokazale boljima u slucaju mobilnih aplikacija, dok je granicna metoda permutacije bolja za upotrebu kod fiksne i sporopokretljive opreme [2].

Projekat IEEE 802.16e-2005 MAN (Metropolitan Area Network) OFDMA baziran je na koncepciji skalabilne OFDMA (SOFDMA), koja podržava širok spektar frekvencija, fleksibilnost adresiranja ucesnika i potrebe za razlicitim frekventnim podrucjima u elektromagnetnom spektru (EMS). Skalabilnost je postignuta podešavanjem velicine brze Furijeove transformacije, FFT (Fast Fourier Transform) razlicitim opsezima kanala radi svodenja na isti frekventni razmak između nosilaca od 10,94 kHz. Pošto su širina kanala nosioca i trajanje simbola isti, uticaj na više nivoe ovako skaliranog opsega je manji. Parametri SOFDMA prikazani su u tabeli. Opsezi bitni za dva inicijalna profila su 5 i 10 MHz.

Parametri SOFDMA

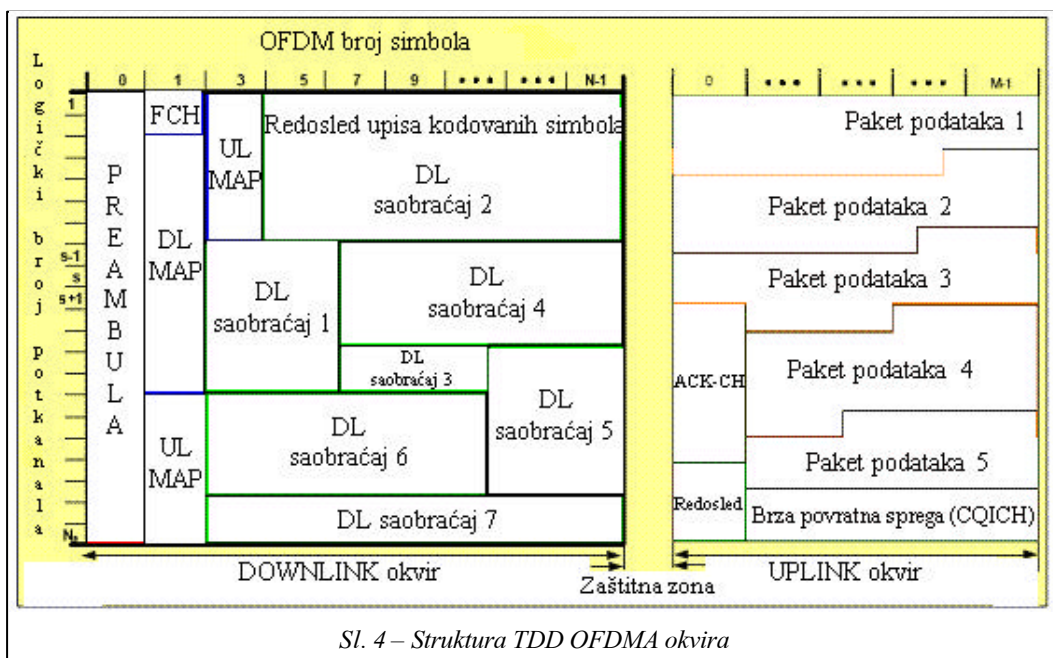
Parametri	Vrednosti			
Kanalaska širina (MHz)	1,25	5	10	20
Frekvencija semplovanja (F _p u MHz)	1,4	5,6	11,2	22,4
Velicina FFT-a	128	512	1024	2048
Broj potkanala	2	8	16	32
Razmak između nosilaca	10,94 kHz			
Vreme trajanja simbola sa informacijom	91,4 ms			
Vreme razdvajanja	11,4 ms			
Trajanje OFDMA simbola	102,9 ms			
Broj OFDMA simbola (u frejmu od 5 ms)	48			

Struktura vremenskog multipleksa

Fizicki sloj 802.16e standarda podržava TDD (Time Division Duplex), pun ili poludupleks FDD (Frequency Division Duplex). U kategoriji mobilnog WiMAX-a uzima se TDD kao jedino rešenje. Opciono će FDD biti uveden za kori-

snike u cijim zemljama regulativama nije obuhvaćen TDD ili je korišćenje FDD-a prihvatljivije. Jedna od najbitnijih pretpostavki korišćenja TDD-a je opšta sinhronizacija sistema, ali, i pored takvih zahteva, TDD je pokazao preimustvo nad FDD-om zbog sledećih osobina:

- TDD dozvoljava asimetričnost protoka uplink/downlink, dok FDD ima fiksni i u principu jednak protok po uplinku i downlinku;
- TDD obezbeđuje recipročnost kanala radi adaptiranja na trenutne uslove propagacije, što omogućuje MIMO i ostale tehnologije antenskih sistema;
- za razliku od FDD-a, kojem su potrebna dva kanala, TDD-u je potreban jedan kanal za downlink i uplink, što izuzetno olakšava adaptaciju na zahteve iskorišćenosti EMS-a;
- primopredajnici koji podržavaju TDD umnogome su jednostavnije konstrukcije od onih koji koriste FDD.



Sl. 4 – Struktura TDD OFDMA okvira

Slika 4 ilustruje strukturu TDD rama. Svaki ram je podeljen na DL i UL podramove razdvojene razmacima predaja/prijem i prijem/predaja koji sprecajaju medusobnu koliziju. Kontrolne informacije su deo rama koji obezbeduje optimalne uslove za opšte izvršavanje operacija. Cine ih:

- preambula, koja predstavlja prvi OFDM simbol rama i omogucava sinhronizaciju;

- zaglavlje za kontrolu rama (Frame Control Header – FCH), koje prati preambulu i nosi informaciju o dužini u protokolu za pristup medijumu, MAP (Media Access Protocol) poruke, šemi kodiranja i mogucnostima korišćenja nosilaca;

- DL-MAP i UL-MAP koji sadrže informaciju o dodeli nosilaca i drugim kontrolnim informacijama u DL i UL podramu, respektivno;

- UL ranging kanal koji je dodeljen mobilnoj stanici radi provere frekvencije, napajanja i potreba za opsegom;

- UL CQICH (Channel Quality Identification Control Header) kanal koji se dodeljuje mobilnoj stanici radi povratne informacije baznoj stanici o stanju kanala;

- UL ACK (Acknowledge), koji služi mobilnoj stanici za potvrdu primljene informacije.

Ostale opcije i mogucnosti fizickog sloja

Adaptivna modulacija i kodiranje, AMC (Adaptive Modulation and Coding), hibridni automatski zahtev za potvrdom prijema, HARQ (Hybrid Automatics Request) i brz izveštaj o stanju kanala (CQICH) neke su od mogucnosti mobilnog WiMAX-a, posebno važne za mobilne aplikacije.

HARQ je osmišljen tako da koristi „Stop and Wait“ (zastani i pricekaj) protokol koji omogucava brzo ispravljanje paketskih grešaka i održavanje veze na ivici celije.

Saobracaj DL može koristiti kvadraturnu modulaciju sa faznim pomakom, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), kvadraturnu amplitudnu modulaciju 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) i 64QAM, dok je kod UL-a 64QAM opciona vrsta modulacije.

Konvolucionni kod (CC) i konvolucionni turbo kod (CTC) sa svojim mogucnostima promenljive kodne brzine takode su ukljuceni u mobilni WiMAX. Na osnovu plana bazne stanice (scheduler) za svakog korisnika posebno se sacinjava profil paketskog prenosa na osnovu velicine *buffer* memorije, uslova propagacije, vrste prijemnika, itd. Indikator kvaliteta kanala, CQI (Channel Quality Identification) koristi se radi planiranja ostvarivanja konekcije sa svakim korisnikom pojedinačno na osnovu informacije dobijene o stanju korisnickog kanala. Mogucnost programiranja retransmisije medu baznim stanicama omogucava da se plan raspodelje resursa na baznoj stanici rastereti. AMC podržava adaptaciju kanala i pri brzinama od 120 km/h, što predstavlja dodatnu opciju.

Opis sloja za kontrolu pristupa medijumu MAC (Media Access Control)

Standard 802.16 razvijen je kao polazna osnova za omogucavanje širokopoljnih servisa, kao što su prenos glasa, podataka i pokretne slike. Sloj MAC ba-

ziran je na specifikaciji usluga prenosa podataka preko kabla, DOCSIS (Data-over-Cable Service Interface Specifications) standardu i dozvoljava paketski prenos podataka sa veoma velikim protokom. Istovremeno je omogućen prenos pokretne slike i govora osetljivog na kašnjenje po istom kanalu.

Resursi koje MAC plan raspodele dodeli terminalu mogu varirati od jednog vremenskog slota do celog frejma, omogućavajući korisnicima veoma velik i dinamičan opseg protoka, u zavisnosti od potreba terminala u određenom trenutku. S obzirom na to da se informacija o zahtevanim resursima nalazi na početku svakog frejma (rama), plan raspodele može uspešno promeniti dodelu resursa na „frame-by-frame“ (frejm po frejm) bazi, da bi adaptirao saobraćaj kako ne bi došlo do zagušenja.

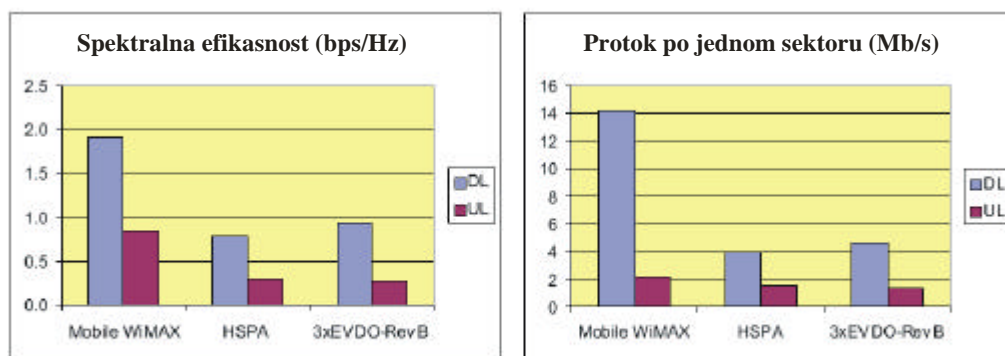
Kvalitet servisa (QoS)

Pošto kanali mobilnog WiMAX-a imaju velike brzine protoka, simetričan downlink/uplink kapacitet i fleksibilan mehanizam dodele resursa korisnicima, sa sigurnošću se može tvrditi da se QoS

uslovi mogu ispuniti u širokoj oblasti servisa i aplikacija.

Kod mobilnog WiMAX-a QoS je izveden kroz sam tok servisa. To je neupucen tok paketa podržanih pojedinim QoS parametrima. Pre odlucivanja za konkretan tip servisa, bazna stanica i korisnički terminal, uz pomoc svojih MAC slojeva, ostvaruju neupucen logicki link – konekciju. Zatim se, uz pomoc bazne stanice, uspostavlja paketski prenos u vidu toka servisa koji biva dostavljen korisniku preko konekcije. Parametri QoS, vezani za tok podataka, definišu pravila transmisije i plana raspodele interfejsa za radio-vezu. Usmereni na konekciju oni upravljaju ovim interfejsom. Pošto radio-interfejs po svojim opštim karakteristikama predstavlja usko grlo, QoS parametri konekcije uspešno omogućavaju kontrolu kvaliteta veze s kraja na kraj. Parametri toka servisa se u toku veze uspešno mogu adaptirati na dinamicne promene zahvaljujuci MAC porukama. QoS baziran na toku servisa kontroliše kvalitet uplink-a i downlink-a respektivno.

Da bi se uspešno uporedile tri tehnologije kao što su mobilni WiMAX, GSM povecanog kapaciteta sa novim standardi-



Sl. 5 – Poređenje spektralne efikasnosti i protoka po jednom sektoru HSPA, EVDO-Rev B i mobilnog WiMAX-a pod istim uslovima saobraćaja

ma i GSM sa pristupom paketima velike brzine HSPA, izvršeno je poređenje propusne moci i spektralne efikasnosti na osnovu uobicajenog seta parametara.

Slika 5 pokazuje da mobilni WiMAX ima određene prednosti nad 3G mobilnim sistemima u pogledu spektralne efikasnosti i propusne moci, kako u DL-u, tako i u UL-u [2]. Spektralna efikasnost za jedan telefonski kanal opsega 3 kHz kod WiMAX iznosi 5,7 kb/s (3000 Hz x 1,9 bps/Hz), dok kod 3 x EVDO-Rev B iznosi 2,7 kb/s (3000 Hz x 0,9 kps/Hz).

Zaključak

Za razliku od 3G sistema baziranih na CDMA, koji su namenjeni isključivo za prenos govora, mobilni WiMAX omogućava prenos široke palete ostalih širokopojasnih servisa, kao što su podaci, pokretna slika i dr. Visoki protoci omogućavaju bolje multipleksiranje i manje kašnjenje, što je neophodno radi kvalitetnog prenosa govora (VoIP). Ovakvim karakteristikama mobilni WiMAX pruža isti kvalitet usluga kao i kablovski ili DSL (Digital Subscriber line) pristup, tako da omogućava servis, kao što je real-time interaktivno delovanje, što je vrlo bitno sa aspekta komandovanja u kriznim situacijama.

Fizicki sloj mobilnog WiMAX sistema baziran je na OFDMA tehnologiji. Ovakav način ostvarivanja modulacije i multipleksiranja, pored male složenosti, omogućava i:

- otpornost na višestruko prostiranje i interferenciju;
- skalabilan opseg kanala;
- ortogonalan višestruki pristup u uplinku;

- podržavanje spektralno vrlo efikasnog TDD;
- plansko raspoređivanje frekvencija u upotrebi;
- dobar kvalitet servisa (QoS);
- naprednu tehnologiju izrade antenskih sistema.

Da bi sistem veza mogao da funkcioniše u vanrednim prilikama i u ratu, moraju im se obezbediti neophodni i realni uslovi u okruženju i unutar sistema. Osnovni uslov je pravilno određen i definisan cilj koji se želi postići funkcionisanjem tog sistema. Složeni sistemi, kakav je sistem veza, imaju kompleksne ciljeve. Sistem mora imati punu potvrdu okruženja o neophodnosti postojanja i uspešnog funkcionisanja. U protivnom, ne bi opstao.

Bitan uslov je da sistem veza svojom organizacijom i funkcionisanjem zadovolji princip prilagodljivosti sa drugim sistemima koji izvršavaju slične funkcije. Kompatibilnost sistema obezbeđuje njihovo međusobno povezivanje, otklanjanje pojedinačnih propusta i dopunjavanje funkcija.

Na osnovu dosadašnje analize dva vrlo slična sistema dolazi se do zaključka da je neophodno da se Srbija, kao zemlja u tranziciji, opredeli za najkvalitetniji i najjeftiniji način modernizacije svog sistema veza. U pogledu samih karakteristika, mobilni sistem 3G, koji je hipotetički kod nas već zaživeo, pruža veoma kvalitetne servise koji bi se mogli uspešno eksploatirati kako u redovnim, tako i u vanrednim situacijama. Nasuprot nedovršene celokupne infrastrukture ovog sistema u zemlji, kao rešenje nameće se uvođenje mobilnog sistema WiMAX koji bi rešio problem dostizanja potrebnog nivoa bežičnog ostvarivanja vrlo sigurnih veza, na širokim prostranstvima, gde nije potrebna ka-

blovska infrastruktura. Sagledavši sve aspekte samih karakteristika oba sistema, može se zaključiti da WiMAX pruža bolje mogućnosti. Zato bi bilo potrebno da mobilni WiMAX, kao zajedničko rešenje za mobilne i fiksne ucesnike, na širokom prostoru putem radio-talasa i sa veoma fleksibilnom arhitekturom, pruži potreban značaj sistemu veza.

Literatura:

- [1] Lazarevic, M.: Organizacija sistema veza u državnoj zajednici Srbija i Crna Gora, Vojna akademija, Beograd, 2006.
- [2] Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, 2006.
- [3] Yagoobi, H.: Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 Wireless MAN, Intel Technology Journal, Vol 08, 2004.
- [4] Stojanovic, M.; Lazovic, S.: Implementacija kvaliteta servisa u multiservisnim IP mrežama, Zbornik radova PosTel 2004, Beograd, 2004.
- [5] WiMAX Forum, Applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks final, 2005. www.wimaxforum.org