

INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK

FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA

ELEKTROTEHNIKA - TELEKOMUNIKACIJE

TRAVNIK

ZAVRŠNI RAD

**WIMAX TEHNOLOGIJA I NJENA PERSPEKTIVA U
OKRUŽENJU MOBILNIH MREŽA ČETVRTE
GENERACIJE**

Mentor : Doc.dr. Goran Popović

Studentica : Dženita Muratagić

Travnik, 2019

Sadržaj

IZJAVA O PLAGIJARIZMU	3
1.Uvod	4
2.EVOLUCIJA I STANDARDI WiMAX SISTEMA	6
2.1Evolucija IEEE familije standarda za BWA.....	6
2.1.1 IEEE 802.16 – 2001	7
2.1.2 IEEE 802.16a – 2003.....	8
2.1.3 IEEE 802.16c – 2002.....	8
2.1.4 IEEE 802.16 – 2004	8
2.1.5 IEEE 802.16e – 2005.....	9
2.2 WiMAX forum.....	11
3.ARHITEKTURA WiMAX SISTEMA	13
3.1 Skup protokola	13
3.2 Mrežna arhitektura	14
3.3 Struktura WiMAX sistema	17
3.3.1 Bazna stanica.....	17
3.3.2 Prijemnik	18
3.4 Primjena IEEE 802.16 mreže	20
4.FIZIČKI SLOJ MOBILNOG WiMAX-a.....	21
4.1 Uvod u OFDM.....	23
4.2 Osnove OFDM tehnike multipleksiranja.....	25
4.3 Struktura OFDMA i potkanalizacija	26
4.4 Skalabilni OFDMA	28
4.5 Struktura vremenskog multipleksa.....	29
4.6 Ostale opcije i mogućnosti fizičkog sloja.....	31
5.MAC SLOJ MOBILNOG WiMAX – A	32
5.1 Kvalitet servisa (QoS)	33
5.2 MAC Servis raspoređivanja	34

5.3 Upravljanje mobilnošću	36
5.4 Sigurnost.....	36
6. PERSPEKTIVA WiMAX TEHNOLOGIJE U OKRUŽENJU MOBILNIH MREŽA ČETVRTE GENERACIJE.....	37
6.1 4G telekomunikacijske mobilne mreže	37
4.1 Sistemi 4G mobilnih mreža.....	38
6.2 MIMO tehnologija.....	40
7.ZAKLJUČAK	42
LITERATURA	43
POPIS SLIKA	44
POPIS TABELA	45
POPIS SKRAĆENICA.....	46

IZJAVA O PLAGIJARIZMU

Kao studentica diplomskog studija na Fakultetu politehničkih nauka, Elektrotehnika, Telekomunikacije – Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku potpisujem izjavu da sam upoznata sa Zakonom o visokom obrazovanju i Etičkim kodeksom Internacionalnog univerziteta Travnik u Travniku.

Ja, Dženita Muratagić studentica Internacionalnog univerziteta Travnik u Travniku, indeks broj: PT-05/15-i odgovorno i uz moralnu i krivičnu odgovornost izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradila potpuno samostalno uz korištenje citirane literature i pomoć mentora.

Mjesto/datum _____

Potpis _____

1.Uvod

WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) tehnologija, bazirana na IEEE 802.16-2004 standardu, ubrzano se pokazuje kao tehnologija koje će igrati glavnu ulogu u fiksnim širokopojasnim bežičnim mrežama. Prva sertifikovana laboratorija, uspostavljena u Malagi u Španiji je potpuno operativna i preko stotinu WiMAX proba je aktivno u Evropi, Aziji, Africi i Severnoj i Južnoj Americi. Nesumnjivo, fiksni WiMAX, baziran na IEEE 802.16-2004 standardu, se dokazao kao isplativa fiksna bežična alternativa kablovskom i DSL servisu. U decembru 2005. godine IEEE je ovjerio dodavanje 802.16e amandmana standarnu 802.16. Ovaj amandman dodaje stavke koje su nepohodne da podrže mobilnost. WiMAX forum sada definiše sistemske perfomanse i profile sertifikovanja bazirane na IEEE 802.16e mobilnom amandmanu i, prelazeći definisanje vazdušnog interfejsa, WiMAX forum definiše i mrežnu arhitekturu neophodnu za implementaciju end-to-end mreže mobilnog WiMAX-a.

Mobilni WiMAX je širokopojasno bežično riješenje koje omogućava konvergenciju mobilne i fiksne širokopojasne mreže kroz zajedničku tehnologiju širokopojasnog radio-pristupa i fleksibilnu mrežnu arhitekturu. Vazdušni interfejs mobilnog WiMAX-a je usvojio OFDMA za poboljšane perfomanse višestrukog prostiranja u okruženjima gdje se ne ostvaruje linija vidljivosti (NLOS). Sistemski profil mobilnog WiMAX-a omogućava mobilnim sistemima da budu konfigurisani na uobičajen način što osigurava baznu funkcionalnost terminala i baznih stanica koje su potpuno interoperabilne, i on pokriva 5, 7, 8,75 i 10 MHz širine radio-kanala za licencirani spektar na svjetskom nivou u frekventnim područjima od 2,3 GHz, 2,5 GHz i 3,5 GHz. Pokazano je da mobilni WiMAX može pružiti kapacitet od nekoliko desetina megabita po sekundi sa svake bazne stanice sa uobičajenom konfiguracijom. Osnovni atributi za omogućivanje širokopojasnog servisa podatka uključujući podatke, video streaming i VoIP se pružaju sa visokim kvalitetom servisa. Perfomanse će omogućiti transparentnost kvaliteta servisa između mobilnog WiMAX-a i širokopojasnog žičnog servisa kao što je kablovski i DSL, i važan su zahtjev za uspjeh ciljane mobilne internet aplikacije za mobilni WiMAX.

Prednosti WiMAX-a uključuju brz prenos podataka, niska cijena opremanja ,otvoreni standardi za bežične širokopojasne servise, očuvanje eko-sistema, niska cijena pretplatničkog servisa za mobilni internet i dr. Stotine kompanija učestvuju u razvoju i mnoge kompanije su objavile proizvodne planove za ovu tehnologiju. Samo jedna WiMAX bazna stanica može da pokrije cijeli grad, uključujući i njegovu šиру okolinu.



Slika 1. Grad pokriven WiMAX sistemom

2.EVOLUCIJA I STANDARDI WiMAX SISTEMA

2.1Evolucija IEEE familije standarda za BWA

¹U kasnim devedestim proizvođači telekomunikacione opreme počinju da razvijaju i nude proizvode za širokopojasni bežični pristup (BWA). Industrija je patila od neusaglašenih standarda. Zbog potrebe za standardom, američki nacionalni institut za standarde i tehnologiju je u avgustu 1998. godine sazvao sastanak na tu temu. Sastanak se završio odlukom da se izvrši organizacija unutar IEEE 802. To je dovelo do formiranja IEEE 802.16 radne grupe. Od tada, članovi radne grupe su uradili mnogo da se razvije standard za fiksni i mobilni BWA. IEEE radna grupa 802.16 za BWA standard je odgovorna za razvoj 802.16 i uključenog u to WirelessMan™ vazdušnog interfejsa, zajedno sa standardima i amandmanima.

IEEE 802.16 standard sadrži specifikaciju fizičkog sloja (PHY) i sloja za kontrolu pristupa medijumu (MAC) za BWA. Prva verzija standarda IEEE 802.16 2001 je odobrena u decembru 2001. godine i prošla je kroz mnoge amandmane da bi prilagodila nove osobine i funkcije. Trenutna verzija standarda IEEE 802.16 2004, je odobrena u septembru 2004. godine, i konsolidovala je sve prethodne verzije standarda. Ovaj standard specifikuje vazdušni interfejs za fiksni BWA sistem podržavajući multimedijalne servise u licenciranim i odobrnim slobodnim spektrima. Radna grupa je odobrila IEEE 802.16e 2005 amandman za IEEE 802.16 2004 u februaru 2004. godine. U tabeli 1 je dat pregled evolucije IEEE 802.16 standarda.

²Tabela 1. Pregled evolucije IEEE 802.16 standarda

	IEEE 802.16 2001	IEEE 802.16a 2003	IEEE 802.16e 2004	IEEE 802.16e 2005
Završen	Decembar 2001	Januar 2003	Juni 2004	Decembar 2005
Spektar	10 - 16 GHz	2 – 11 GHz	2 – 11 GHz	2 – 6 GHz
Propagacija	LOS	NLOS	NLOS	NLOS
Bitska brzina	Do 134 Mbps (28 MHz kanalizacija)	Do 75 Mbps (20 MHz kanalizacija)	Do 75 Mbps (20 MHz kanalizacija)	Do 15Mbps (5 MHz kanalizacija)

¹ Veinović,M., Jevremović, A., Računarske mreže, Beograd,2016

² http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf, 15.06.2019

Tabela 2. Poređenje IEEE standarda za BWA

	IEEE 802.16 2001	IEEE 802.16a 2003	IEEE 802.16e 2004	IEEE 802.16e 2005
Modulacija	QPSK, 16QAM (opciono u UL), 64QAM (opciono)	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (opciono)	256 podnositaca OFDM, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	SOFDMA, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (opciono)
Mobilnost	Fiksna	Fiksna	Fiksna/nomadska	Fiksna/mobilna

2.1.1 IEEE 802.16 – 2001

³Prva stavka standarda koja specifikuje set MAC i PHY slojava nastojala je da pruži fiksni BWA u “tačka-tačka” ili “tačka-više tačaka” topologiji. PHY sloj koristi modulaciju sa jednim nosiocem u frekventnom spektru od 10 do 66 GHz.

Brzina prenosa, trajanje i modulacija su dodjeljeni od strane bazne stanice i dijele se sa svim čvorovima u mreži u formi rasprostranjenog “Uplink”-a i “Downlink” mapama. Preplatnici treba samo da “čuju” baznu stanicu na koju su spojeni i ne moraju slušati ostale čvorove u mreži.

Standard uključuje QPS, 16QAM i 64QAM modulacione postupke. One mogu biti mijenjane od frejma do frejma i od preplatničke stanice do preplatničke stanice, zavisno od robusnosti konekcije. Standard podržava obje dupleksne tehnike, dupleks na bazi vremenske raspodijele (TDD) kao i dupleks na bazi frekventne raspodijele (FDD). Važna osobina 802.16 2001 standarda je njegova mogućnost da pruži različit QoS u MAC sloju. Identifikator servisnog toka vrši QoS provjeru. Servisni tok je karakterisan svojim QoS parametrima, koji potom mogu biti korišćene da odrede parametre kao što su maksimalna latentnost i tolerisani jitter. Servisni tok može biti urokovan ili od bazne stanice ili od preplatničke stanice. 802.16 2001 radi samo u LOS5 uslovima sa vanjskom korisničkom opremom (CPE).

2.1.2 IEEE 802.16a – 2003

Ova verzija standarda poboljšava IEEE 802.16 2001 unapređujući MAC sloj da bi podržao višestruke specifikacije fizičkog sloja i pruža dodatne specifikacije fizičkog sloja. Odobren je od strane IEEE 80.16 radne grupe u januaru 2003. godine. Ovaj amandman dodaje podršku fizičkog sloja za frekventni opseg od 2 do 11 GHz. Oba, odobreni i licencirani slobodni

³ https://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE_802.16x-STANDARDI_ZA_WiMAX_MREZE_Ivana_Behin.pdf 15.06.2019

spektri su uključeni. NLOS je postao moguć zahvaljujući uključivanju opsega ispod 11 GHz, što je preosirilo geografski domet mreže. Zahvaljujući NLOS omogućena višestruka propagacija. Mogućnost da radi sa višestrukom propagacijom i ublažavanjem interferencije kao što su napredno upravljanje napajanjem i tehnika adaptivnih antena su uključene u specifikaciju. Opcija da se koristi OFDM je uključena kao alternativa modulaciji sa jednim nosiocem. Sigurnost je poboljšana, mnogi od slojeva za privatnost postaju stalni dok su do tada bili opcioni. IEEE 802.16a takođe dodaje opcionu podršku za miješanu topologiju.

2.1.3 IEEE 802.16c – 2002

U decembru 2002. godine, IEEE odbor za standarde je odobrio amandman IEEE 802.16c. U ovom amandmanu je dodat detaljniji sistemski profil za obim od 10 do 66 GHz i neke greške i neusklađenosti prve verzije standarda su ispravljene.

2.1.4 IEEE 802.16 – 2004

⁴802.16-2001, 802.16a-2003 i 802.16c-2002 su združeni i stvoren je novi standard 802.16-2004. U početku, novi standard je bio objavljen kao revizija standarda pod imenom 802.16 REVd, ali su izmjene bile tako velike da je standard, u septembru 2004. godine, ponovo izdat pod imenom 802.16-2004. U ovoj verziji, odobrena je čitava familija standarda. IEEE 802.16-2004 koristi OFDM da opslužuje mnogo korisnika sa metodom vremenske podijele i sortiranja po tehnički svaki sa svakim, ali to se obrađuje ekstremno brzo tako da korisnici imaju osjećaj da stalno ostvaruju vezu primanja/slanja podataka. To je tehnologija fiksnog bežičnog pristupa, projektovana da služi kao bežična DSL tehnologija, i da se takmiči sa postojećim DSL-om ili širokopojasnim kablovskim provajderima ili da obezbjedi osnovne telefonske usluge i širokopojasni pristup u nepristupačnom području gdje ne postoji druga tehnologija pristupa, primjeri uključuju zemlje u razvoju ili seoska područja u razvijenim zemljama gdje je ekonomski neisplativo dovoditi žice i kablove. 802.16-2004 je takođe vidljivo rješenje za bežični backhaul za WiFi2 pristupne tačke ili potencijal za celularne mreže, naručito ako se koristi licencirani spektar. Konačno, u određenim konfiguracijama, fiksni WiMAX se može koristiti da obezbjedi veoma velike brzine prenosa podataka. Tipično, korisnička oprema se sastoji od spoljašnje antene i unutrašnjeg modema, s tim da tehničar treba da poveže poslovne i privatne pretplatnike na mrežu. U određenim slučajevima, mogu se koristiti samoinstalacione unutrašnje jedinice, naručito kad je pretplatnik u neposrednoj blizini bazne stanice. Samoinstalirajuća oprema će učiniti od 802.16-2004 mnogo ekonomičnije rješenje jer će smanjiti troškove na korisničkoj strani.

⁴ <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>, 15.06.2019

2.1.5 IEEE 802.16e – 2005

Ovaj amandman je dodan u standard IEEE 802.16 2004 u decembru 2006. godine. On uključuje poboljšanja fizičkog sloja i sloja za kontrolu pristupa medijumu s ciljem omogućavanja kombinovanja fiksknih i mobilnih operacija u licenciranom opsegu. 802.16e koristi OFDMA i može služiti istovremeno više korisnika, tako što dodjeljuje "sets of tones" svakom korisniku. Optimizovan je za dinamičke mobilne radio kanale i omogućava podršku za handoff i roming. 802.16e koristi i SOFDMA, modulacionu tehniku višestrukih nosilaca koja koristi tzv. potkanalizaciju (subchannelization). Data mogućnost korišćenja i mrežnih fiksnih servisa preko postojećeg mobilnog. Na početku razvoja ovog standarda frekventni opseg u kom će raditi mobilni WiMAX nije odmah usvojen, već su predložene frekvencije od 2.3 do 2.5 GHz. 802.16e proizvodi su prilagođeni za mobilnost i handoff-ove (pokretne stanice). Podrška za uštedu snage i stand by mod će produžiti život baterija mobilnih korisnički uređaja. Mobilni WiMAX uvodi OFDMA i podržava nekoliko ključnih stavki neophodnih za uspostavljenje mobilnog širokopojasnog servisa za brzine kretanja automobila, većih od 120 km/h, sa kvalitetom servisa uporedivim sa alternativnim širokopijasnim bežičnim pristupima. Ove stavke i atributi su:

- Tolerancija na višestruko prostiranje talasa (multipath propagation) i intersimbolsku interferenciju za potkanalnom ortogonalnošću i u DL i u UL.
- Promjenljiva širina kanala, od 1,25 do 20 MHz.
- Dvosmijerni prenos podijelom vremena (TDD) je određen za početni profil mobilnog WiMAX-a. Efikasan je u podršci nesimetričnog saobraćaja i kanalskom reciprocitetu za laku podršku naprednih antenskih sistema.
- Hibridno-automatsko ponavljanje zahtjeva (H-ARQ) pruža dodatu snagu sa brzom izmjenom uslova prostiranja u visoko mobilnim situacijama.
- Frekvenčijski selektivno raspoređivanje i potkanalizacija sa višestrukim permutacionim opcijama, daje mobilnom WiMAX-u sposobnost da optimizuje kvalitet konekcije zavisno od snage relativnog signala za određenog korisnika.
- Upravljanje uštedom napajanja osigurava napojno-efikasne operacije baterijskih ručnih i portabilnih uređaja u Sleep i Idle modovima.

- Mrežno-optimizovan Hard Handoff (HHO) je podržan da svede na minimum overhead (signali koji nisu korisnički sadržaj) i da postigne kašnjenja manja od 50 ms.
- Multicast i Broadcast servisi (MBS) kombinuju osobine DVB-H2 , MediaFLO i 3GPP E-UTRA za:
 - Visoke brzine podataka i pokrivenosti koristeći mrežu jedne frekvencije;
 - Fleksibilna alokacija radio izvora;
 - Niska potrošnja energije mobilnih uređaja;
 - Nisko vrijeme promjene kanala;
- Podrška za smart antene pomogutno sa potkanalizacijom i kanalskim reciprocitetom omogućava širok spektar naprednih antenskih sistema.
- Frakonalna reupotreba frekvencije kontroliše međukanalsku interferenciju da bi se podržala univerzalna reupotreba frekvencije sa minimalnom degradacijom spektralne efikasnosti.
- Veličina frejma od 5 ms pruža optimalan odnos između overhead-a i latentnosti.

Mrežna radna grupa WiMAX foruma razvija mrežnu specifikaciju višeg nivoa za sistem mobilnog WiMAX-a iznad onoga što je definisano u IEEE 802.16 standardu koji određuje samo vazdušni interfejs. Kombinovani napor IEEE 802.16 i WiMAX foruma pomažu u definisanju end-to-end sistemskog rješenja za mrežu mobilnog WiMAX-a. Sistem mobilnog WiMAX-a nudi skalabilnost i u pristupnoj radio tehnologiji i u mrežnoj arhitekturi, tako da omogućava veliku fleksibilnost u opcijama mrežnog postavljanja i servisnih usluga. Neke od istaknutih mogućnosti koji podržava mobilni WiMAX su:

- Visoke brzine prenosa podataka: Uključivanje MIMO antenske tehnike zajedno sa fleksibilnim potkanalizacijskim šemama, napredno kodiranje i modulacija, svi zajedno omogućavaju tehnologiji mobilnog WiMAX-a podršku vršnim brzinama prenosa za preuzimanje (DL) do 63 Mb/s po sektoru i vršnim brzinama prenosa za slanje (UL) do 28 Mb/s po sektoru u kanalu od 10 MHz.
- Kvalitet servisa (QoS): Fundamentalna prepostavka IEEE 802.16 MAC8 arhitekture je QoS. On definiše servisne tokove koji mogu mapirati različite servisne kodove što omogućava end-to-end IP9 bazirani QoS. Dodatno, potkanalizacija i MAP bazirane signalne šeme pružaju

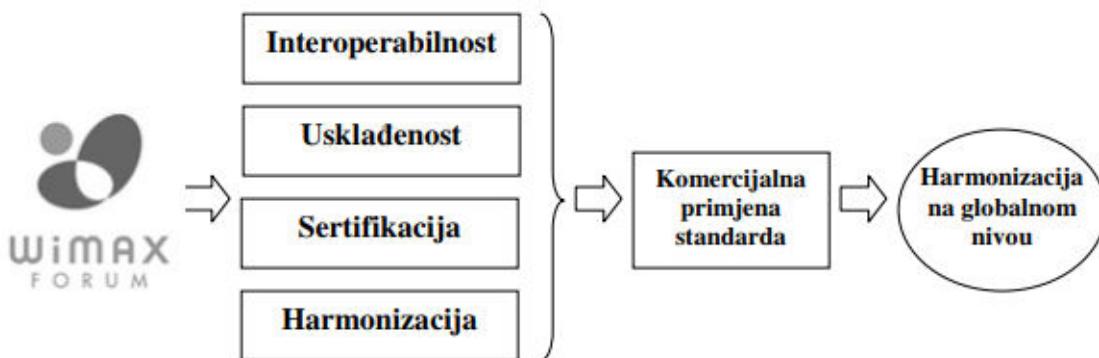
fleksibilne mehanizme za optimalno raspoređivanje prostora, frekvencije i vremenskih resursa u vazdušnom interfejsu baziranog na principu frame-by-frame.

- Skalabilnost: Uprkos ubrzanoj globalizaciji ekonomije, spektralni resursi za bežične širokopojasne mreže su još uvijek prilično neusaglašeni za te namijene. Stoga je tehnologija mobilnog WiMAX-a dizajnirana da bude sposobna da radi u različitim kanalizacijama od 1,25 do 20 MHz te da se uklopi u različite svjetske zahtjeve, u isto vrijeme se nastavljaju naporu da se postigne spektralna harmonizacija na duži period. Ovo, takođe, omogućava različitim privredama da uvide višestruke koristi tehnologije mobilnog WiMAX-a za njihove specifičane geografske potrebe kao što su pružanje isplativog internet pristupa u ruralnim sredinama kao i poboljšanje kapaciteta mobilnog širokopojasnog pristupa u gradskim i prigradskim sredinama.
- Sigurnost: Detalji koji su postavljeni za sigurnosni aspekt mobilnog WiMAX-a su najbolji u klasi EAP2 baziranih autentifikacija, AES baziranih autentifikacionih enkripcija, i CMAC i HMAC baziranih šema zaštite kontrolnih poruka. Podrška za različite korisničke verifikacije, uključujući: SIM kartice, Smart kartice, Digitalne potpise, i "korisničko ime/lozinka" šemama baziranim na relevantnim EAP metodama.
- Mobilnost: Mobilni WiMAX podržava optimizovane šeme handoff-a sa latentnostima manjim od 50 ms, time osigurava da se aplikacije koje rade u realnom vremenu, kao što su VoIP, izvršavaju bez servisne degradacije. Fleksibilne šeme upravljanja ključevima osiguravaju da se održava sigurnost tokom handoff-a.

2.2 WiMAX forum

WiMAX Forum je industrijska, neprofitabilna organizacija osnovana 2001. godine s ciljem da promoviše i vrši sertifikaciju kompatibilnih i interoperabilnih širokopojasnih bežičnih proizvoda. Formirali su ga proizvođači opreme i komponenti da bi podržali IEEE 802.16 BWA sistem i osigurali kompatibilnost i interoperabilnost BWA opreme što vodi smanjenju troškova pri njegovoj implementaciji. Vizionarske kompanije, koje su uvidjele da je trenutno rješenje bežičnog pristupa neprikladno, povele su kampanju za razvoj WiMAX Forum CertifiedTM proizvoda. Generalno postoji nedostatak kapaciteta za prenos video sadržaja, nedovoljan propusni opseg, a sve to je previše kompleksno i skupo zbog neintegrisanih mreža. Širokopojasni bežični pristup mrežama baziran na Ethernetu eliminisaće potrebu za višestrukom konverzacijom unutar WAN -a i LAN-a između ATM i IP mrežnih elemenata.

⁵WiMAX Forum radi ono što je WiFi Alliance-a uradila za bežični LAN i IEEE 802.11. 2003. godine, Intel korporacija je postala glavna podrška WiMAX Forumu. WiMAX Forum CertifiedTM proizvodi pridržavaju se IEEE 802.16 standarda i nude širi ospege, niže cijene i veći kapacitet servisa od većine dostupnih rješenja. WiMAX Forum radi na tome da uspostavi osnovnu liniju protokola koja omogućava interoperativnost opreme i uređaja različitih proizvođača. Na slici 2 prikazana je uloga WiMAX Foruma. WiMAX Forum ima više od 420 članova koje čine proizvođači opreme, snadbjevači komponenti, servisni provajderi i ostali. Neki od uglednih članova su Alcatel, AT&T, Fujitsu, Intel, Nortel, Motorola, Redline, SBC, Simens, itd.



⁶Slika 2. WiMAX forum na globalnom nivou

WiMAX Forum će slijediti IEEE tradiciju da bude slobodan, obiman i kompletan, dizajniran za jako velike aplikacije. Svi učesnici mogu dobiti efektну bežičnu infrastrukturu za širokopojasne servise podataka bilo da je ona fiksna, nomadska ili mobilna. WiMAX Forum CertifiedTM je otvorena sertifikacija bazirana na IEEE standardu 802.16. WiMAX Forum Technical Working Group vrši provjeru i sertifikaciju proizvoda. Postoje tri laboratorije za sertifikaciju: CETECOM u Španiji, TTA u Koreji i CATR u Kini. Za mrežne operatore, ovakva interoperabilnost pruža više opcija, fleksibilnost razvoja bežičnog širokopojasnog sistema i saznanje da svi proizvodi koji imaju sertifikat mogu zajedno raditi.

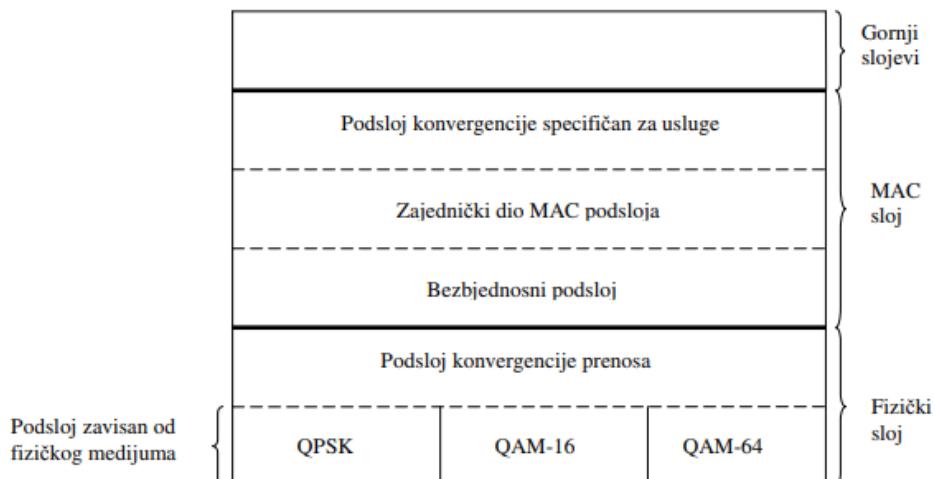
⁵ <http://wimaxforum.org/>, 15.06.2019

⁶ <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>, 15.06.2019

3.ARHITEKTURA WiMAX SISTEMA

3.1 Skup protokola

⁷ IEEE 802.16 standard pokriva dva najniža sloja OSI modela: Sloj za kontrolu pristupa medijumu (MAC) i fizički sloj. MAC sloj je odgovoran za određivanje koja pretplatnička stanica (SS) može pristupiti mreži, i dalje je podijeljen u tri podsloja: Podsloj konvergencije specifičan za usluge (SC), zajednički dio MAC sloja (CPS), i bezbjednosni podsloj. SC transformiše dolazeće podatke primljene od SC sevisne pristupne tačke (SAP3) u MAC pakete podataka. Transformacija mapira vanjske mrežne informacije u IEEE 802.16 MAC informacije, kao što su servisni tok i identifikator konekcije (CID). Trenutni standard detaljno opisuje dvije SC specifikacije: ATM SC i Packet SC. CS je takođe odgovoran za branjenje/omogućavanje QoS-a i dozvoljavanje alokacije frekventnog opsega. Na slici 3 prikazan je skup protokola mreže 802.16. Njegova opšta struktura odgovara mrežama serije 802, osim što ovdje ima više podslojeva.



Slika 3. Skup protokola mreže 802.16

MAC sloj se dijeli na tri podsloja. Najniži je zadužen za privatnost i bezbjednost, što je mnogo važnije za javni spoljašnji saobraćaj nego za privatni razgovor u enterijeru. U njemu se razmjenjuju šifre i šifruju, odnosno dešifruju poruke.

Srednji sloj je zajednički dio MAC podsloja i odgovoran je za funkcionisanje kontrole pristupa, alokacije frekventnog opega, uspostavljanje konekcije, i održavanje. U njemu su smješteni glavni protokoli. Model predviđa da bazna stanica upravlja cijelim sistemom. Ona

⁷⁷⁷ Hamedović, H., WLAN bežične mreže, Priručnik za brzi početak, Zagreb 2015

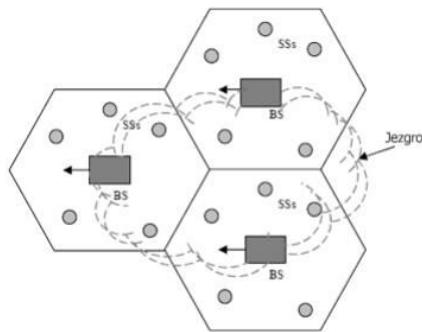
može vrlo efikasno da raspoređuje kanale za saobraćaj ka korisnicima, a odgovorna je i za kanale kojima joj korisnici upućuju poruke. Za razliku od drugih mreža serije 802, ovaj MAC podsloj je potpuno usmjeren na uspostavljanje direktnе veze jer mu je glavni cilj da obezbjedi kvalitetne telefonske i multimedijalne usluge.

Podsloj konvergencije specifičan za usluge transformiše dolazeće podatke primljene od SC sevisne pristupne tačke (SAP) u MAC pakete podataka. Transformacija mapira vanjske mrežne informacije u IEEE 802.16 MAC informacije, kao što su servisni tok i identifikator konekcije (CID). On zamjenjuje podsloj za upravljanje logičkom vezom u drugim 802 protokolima. Treba da obezbjedi interfejs ka mrežnom sloju. SC je, takođe, odgovoran za branjenje/omogućavanje QoS-a i dozvoljavanje alokacije frekventnog opsega. IEEE 802.16 fizički sloj je odgovoran za emitovanje i prijem podataka, odnosno upravlja prenosom koji se ostvaruje klasičnim uskopojasnim radio-uređajima uz korištenje uobičajenih tehnika modulacije.

3.2 Mrežna arhitektura

⁸IEEE 802.16 mreža se sastoji od fiksnih infrastrukturnih položaja. Zapravo, IEEE 802.16 mreža nalikuje čelijskom telefonskoj mreži. Svaka čelija se sastoji od bazne stanice (BS2) i jedne ili više pretplatničkih stanica (SS), zavisno od implementacije topologije. Tako da, bazna stanica obezbeđuje “Tačka-tačka” (PTP) servis ili “Tačka-više tačaka” (PMP) servis u cilju da opslužuje više pretplatničkih stanica. Bazna stanica obezbeđuje konekciju sa jezgrom mreže. Pretplatnička stanica može biti montirana na krovu ili zidu kao pretplatnička oprema (CPE) ili zaseban ručni uređaj kao što je mobilni telefon, personalni digitalni uređaj (PDA) ili periferijska kartica (PCI) kompjutera ili laptopa. U slučaju vanjske pretplatničke opreme, korisnici u unutrašnjosti zgrade su spojeni na konvencionalnu mrežu kao što je Ethernet LAN (IEEE 802.3 LAN) ili bežični LAN (IEEE 802.11b/g WAN10) koji imaju pristup na CPE. Grupa čelija može biti grupisana da čini mrežu, gdje su bazne stanice spojene kroz mrežno jezgro kao što je prikazano na slici 4 IEEE 802.16 mreža, takođe, podržava miješanu topologiju, gdje su pretplatničke stanice u mogućnosti da komuniciraju među sobom bez potrebe za baznom stanicom.

⁸ Hamedović, H., WLAN bežične mreže, Priručnik za brzi početak, Zagreb 2015



⁹Slika 4. Tipična IEEE 802.16 mreža

Bazna stanica tipično sadrži jednu ili više široko-emisionih entena koje mogu biti podijeljene u nekoliko manjih sektora, gdje suma svih sektora čini pokrivenost od 360 stepeni . CPE, tipično, sadrži visoko usmjerene antene koje su usmjerene prema baznoj stanicu. Zavisno od potrebe, IEEE 802.16 mreža može biti postavljena u različitim formama.

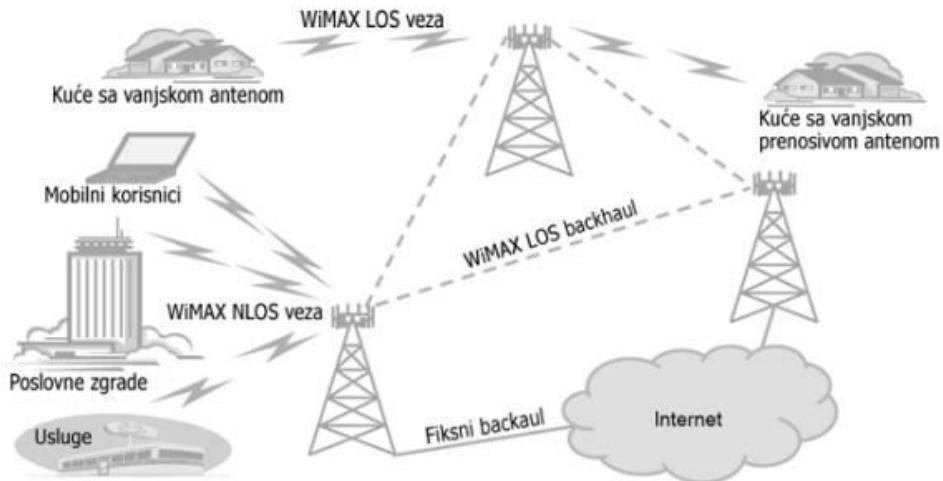
Arhitektura i upotreba WiMAX-a ima dvosmjernu evoluciju. Fiksni pristup je početno kombinovan sa portabilnim i onda je proporcionalno evoulirao do pune mobilnosti. Okvir je baziran na nekoliko glavnih principa:

- Podrška za različite RAN (radio pristup mreži) topologije.
- Dobro definisan interfejs s ciljem da omogući 802.16 RAN nezavisnost arhitekture dok omogućava međusobnu integraciju i umrežavanje (interworking) sa WiFi, 3GPP32 i 3GPP2 mrežama.
- Snaga i otvorenost, IETF definisane IP tehnologije i povećanje izgradnje svih IP 802.16 pristupa mrežama koristeći COTS4 (Components Of The Shelf) opremu.
- Podrška za IPv4 i IPv6 klijentske i aplikacijske servere, sa preporukom upotrebe IPv6 infrastrukture.
- Funkcionalni produžetak za podršku budućih razvoja ka punoj mobilnosti i dostavljanju širokopojasne multimedije.

Arhitektura će biti primjenjiva na licencne i nelicencne 802.16 razvoje. Biće pogodna za prilagođenje svim dosadašnjim tipovima operatora. Prikladna je za integraciju sa postojećim

⁹ https://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE_802.16x-STANDARDI_ZA_WiMAX_MREZE_Ivana_Behin.pdf, 15.06.2019

IP operatorima core network (DSL, kablovski pristup ili 3G) preko interfejsa baziranog na IP, to je prikazano na slici 5¹⁰



Slika 5. Arhitektura WiMAX sistema

Arhitektura se prilagođava različitim online i offline klijentskim zahtijevima. Podržavaće široki opseg TCP i UDP aplikacija u realnom vremenu i van realnog vremena. Čvrsta dvostrana korisnička autentifikacija bazira se na raznovrsnim mehanizmima kao što je korisničko ime/lozinka, X.509 sertifikacija, SIM (pretplatnički identifikacijski modul), univerzalni SIM (USIM) i RUIM (uklonjivi korisnički identifikacijski modul) i pružanje usluga kao što je intengritet podataka, ponovna zaštita podataka (data reply protection), povjerljivost podataka i neodricanje dužine ključa dozvoljene unutar globalne regulacije.

WiMAX je projektovan tako da bi se udružio sa dosadašnjom standardnom i bežičnom infrastrukturom. WiMAX mreža ima više baznih stanica i udruženih antena koje bežično komuniciraju sa velikim brojem korisničkih uređaja (ili pretplatničkih stanica). WiMAX MAN je šematski sličan point-to-multipoint rasporedu ćelijskih mreža. On se obrće oko strateški pozicioniranih baznih stanica čiji je signal usmjeren u područje CPE-ova.

¹⁰ [https://www.etran.rs/common/archive/ETRAN_1955-2006/ET\(R\)AN_1955-2006/eTRAN/50.ETRAN.2006.3/ME/Iovic%20Cekic%20Josanovic%20Kapetanovic.ETRAN2006.pdf](https://www.etran.rs/common/archive/ETRAN_1955-2006/ET(R)AN_1955-2006/eTRAN/50.ETRAN.2006.3/ME/Iovic%20Cekic%20Josanovic%20Kapetanovic.ETRAN2006.pdf)

3.3 Struktura WiMAX sistema

Wimax sistem se može podijeliti na dva dijela, mrežni i korisnički, čiji su glavni reprezentni: WiMAX bazna stanica i WiMAX prijemnik, poznatiji kao CPE.

3.3.1 Bazna stanica

¹¹WiMAX bazna stanica je povezana na javnu mrežu preko optičkog kabla, kabla, mikrotalasnog linka ili preko neke druge veze velike brzine, koje su poznate kao backhaul. Idealno bi bilo kad bi WiMAX koristio tačka-tačka antene kao backhaul da poveže sva korisnička mjesta (svaki sa svakim) međusobno i sa baznim stanicama na veoma velike udaljenosti. Bazna stanica daje usluge pretplatnicima (tj. korisničkoj opremi u prostorijama) koristeći vezu bez optičke vidljivosti (NLOS) ili sa optičkom vidljivošću (LOS) i obezbjeđuje vezu tipa point-to-multipoint (jedan primopredajnik komunicira sa više primopredajnika rasutih okolo), to se odnosi na vezu posljednjeg kilometra. Pretplatnička mjesta su često privatne ili poslovne zgrade koje imaju sopstveni standardni ili bežični LAN. Ona su povezana sa WiMAX-ovim baznim stanicama preko malih antena koje su postavljene na zgradama i primaju i šalju signal, te povezuju LAN ili WLAN zgrade sa internetom i drugim servisima. Budući korisnici koji budu direktno povezani na WiMAX sistem zavisno od frekventnog opsega imaće integrisane kartice u svoje uređaje. WiMAX bazna stanica se sastoji od unutrašnje elektronike (BTS1) i WiMAX tornja. WiMAX toranj koji je sličan predajnicima mobilne telefonije, prikazan je na slici 6. U praksi se pokazalo da bazna stanica može pokriti radijus od 10 km, iako u teoriji se tvrdi da je pokrivenost do 50 km. Bilo koji bežični čvor u ovoj oblasti može imati pristup internetu.



¹¹ <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>

Slika 6. Motorola WiMAX Smart Antena. Fiksni, nomadski i mobilni pristup



Slika 7. WiMAX toranj



Slika 8. WiMAX BTS

Svaka bazna stanica obezbeđuje bežični pristup u oblasti koja se zove ćelija. Kao i kod sa konvencionalnih celularnih mobilnih mreža, antene baznih stanica mogu biti omnidirekcione čime ćeliji daju kružni oblik, ili direkcionе koje daju linearan oblik i koriste se u vezi point-to-point ili za povećavanje kapaciteta mreže, efektivno dijeleći velike ćelije na nekoliko manjih sektora.

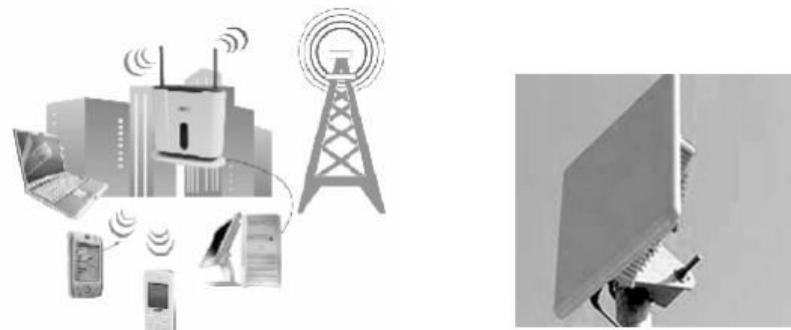
3.3.2 Prijemnik

Korisnički dio WiMAX sistema predstavlja prijemnik (WiMAX modem) sa antenom (koja je odvojena ili ugrađena u sam uređaj), prikazano na slikama 9, 10, 11 ili je to PCMCIA kartica koja se postavlja u kompjuter ili laptop (slika 12), a može biti i ugradni čip široka implementacija se tek očekuje, prikazano na slici 10. Veliki proizvođač tehničke opreme, Intel, predstavio je 2006. godine čip koji omogućava korištenje WiMAX-a u PC-u i drugoj korisničkoj opremi, a u PDA i mobilnim telefonima su se počeli pojavljivati u prošloj godini. Oni će povećati ponudu velikog tržišta koje postoji za WLAN lokalni Ethernet. Na slici 13 je prikazan širok spektar korisničkih uređaja za fiksni, nomadski i mobilni WiMAX.



Slika 9. Unutrašnji modemi

slika 10. WiMAX čip, Intel



Slika 11. WiMAX Unutrašnji modemi – primjena

Slika 12. WiMAX – vanjski modem



Slika 13. Motorola WiMAX korisnički uređaji za Fiksni, nomadski i mobilni pristup

Pristup WiMAX baznoj stanici je sličan pristupu bežičnoj pristupnoj tački (AP) u Wi-Fi mrežama, ali je pokrivenost mnogo veća. Trošak za CPE je do sad bio jedan od najvećih nedostataka i smanjio je interesovanje za širokopojasni bežični pristup. To nije samo trošak za CPE, već je i instalacija koja dodatno povećava cijenu. Personalni BWA sistemi su jako

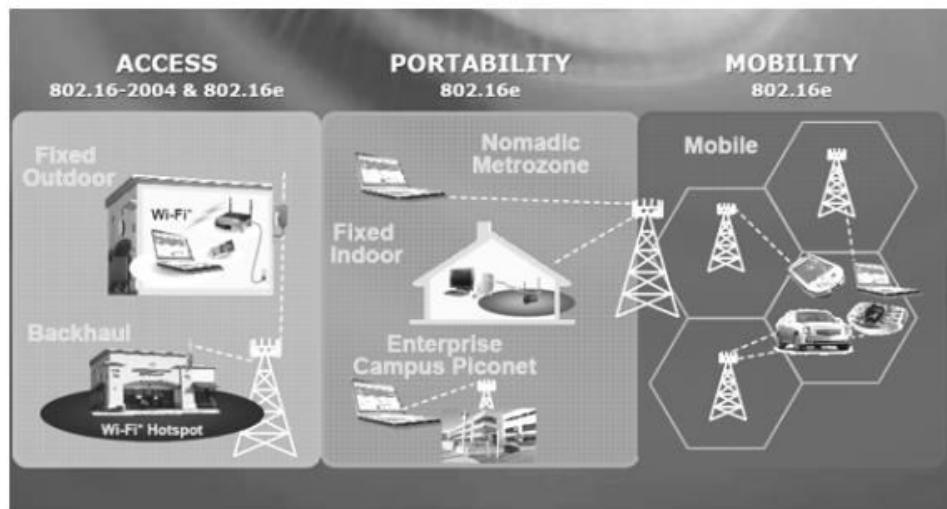
zastupljeni tamo gdje se može ostvariti optička vidljivost, ali oni zahtijevaju puno rada prilikom instalacije i povremenog okretanja antene kod korisničkog uređaja. Kod WiMAX-a se je ovaj problem riješen sa konceptom samoinstalacije CPE što donosi novu revoluciju u svijet širokopojasni bežični pristup.

3.4 Primjena IEEE 802.16 mreže

¹²IEEE 802.16 podržava ATM, IPv4, IPv6, Ethernet i Virtual Local Area Network (VLAN) servise. Tako da obezbjeđuje bogat izbor servisnih mogućnosti za provajdere koji pružaju usluge prenosa glasa i podataka. Može biti korišćen za široku selekciju bežičnih širokopojasnih konekcija i solucija.

- Čelijski backhaul: IEEE 802.16 bežična tehnologija može biti izvrstan izbor za backhaul za komercijalne firme za potrebe kao što su hotspots kao i point to point backhaul aplikacije zahvaljujući svojoj robusnosti i velikim dometima.
- Stambeni širokopojasni servis: Praktična ograničenja kao što su velike udaljenosti i nedostatak povratnog kanala ograničavaju mnoge potencijalne korisnike u dosezanju DSL i kablovske tehnologije. IEEE 802.16 može popuniti praznine u kablovskoj i DSL pokrivenosti.
- Nepokrivena područja: U mnogim ruralnim područjima ne postoji žična infrastruktura. IEEE 802.16 može biti bolje rješenje za omogućavanje komunikacionih servisa tim područjima koristeći fiksni CPE i antene sa visokom dobiti.
- Uvijek najbolja konekcija: Pošto IEEE 802.16 podržava mobilnost, tako mobilni korisnici u poslovnim područjima mogu postići servise velikih brzina putem IEEE 802.16/WiMAX ručnih uređaja kao što su PDA, džepni PC i smart telefon.

¹² Hamedović, H., WLAN bežične mreže, Priručnik za brzi početak, Zagreb 2015



Slika 14. Primjena IEEE 802.16 tehnologije

4.FIZIČKI SLOJ MOBILNOG WiMAX-a

¹³Za širokopojasni bežični pristup potreban je veliki opseg, a on se jedino može naći u području između 2 i 66 GHz. Milimetarski talasi iz tog područja imaju zanimljivo svojstvo koje nemaju duži talasi, oni se ne prostiru u svim pravcima kao zvuk, već pravolinijski kao svjetlost. Zbog toga bazna stanica mora da ima više antena usmjerena u različite pravce. Svaki sektor okolnog terena koji pokriva jedna antena ima svoje korisnike koji su srazmjerno nezavisni od korisnika u susjednim sektorima. Pošto jačina signala u milimetarskom području naglo opada s rastojanjem od bazne stanice, zajedno s njom opada i odnos signal-šum. Zbog toga se u mreži 802.16 koriste tri tehnike modulacije, zavisno od udaljenosti korisnika od bazne stanice. U neposrednom okruženju koristi se sistem QAM-64 sa 6 bita po bodu, na srednjim udaljenostima sistem QAM-16 sa 4 bita po bodu, a modulacija za najudaljenije korisnike je po sistemu QPSK sa 2 bita po bodu. Na primjer, ako se iskoristi dio spektra od tipično 25 MHz, uz QAM-64 dobićemo 150 Mb/s, uz QAM-16 100Mb/s, a uz QPSK 50 Mb/s. Drugim riječima što je pretplatnik dalje od bazne stanice, sporiji je prenos podataka, to možemo vidjeti na slici 15.



¹⁴Slika 15. Područje mreže 802.16

Kada su dobili zadatak da razviju širokopojasni sistem prenosa, projektanti mreže 802.16 morali su se dobro potruditi da uz navedena fizička ograničenja što bolje iskoriste raspoloživi spektar frekvencija. Pri tome nisu bili oduševljeni načinom na koji rade sistemi GSM1 i DAMPS2 , tj. korišćenje dva frekventna područja jednakе širine za prenos podataka ka korisniku i od njega. Pri prenosu govora, saobraćaj je vjerovatno približno jednak u oba smjera, ali kada je u pitanju internet, saobraćaj ka korisniku najčešće je mnogo veći od saobraćaja ka baznoj stanici. Zbog toga se u mreži 802.16 predviđa mnogo elastičniji način dodjeljivanja propusnog opsega pomoću dvije tehnike: dvosmjernog prenosa podijelom

¹³ Hadžib M. Salkić, Osnove Web tehnologija, Travnik 2019

¹⁴ https://nastava.tuz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE_802.16x - STANDARDI_ZA_WiMAX_MREZE_Ivana_Behin.pdf, 16.06.2019

frekvencije (FDD) i dvosmjernog prenosa podijelom vremena (TDD). Saobraćaj ka korisniku preslikava u vremenske intervale bazna stanica zato što je ona isključivo odgovorna za taj smjer. Složeniji saobraćaj od korisnika (ka baznoj stanici) zavisi od zahtjevanog kvaliteta usluge.

Fizički sloj ima i zanimljivu sposobnost da u jedinstvenom fizičkom prenosu podataka više MAC okvira pakuje jedan uz drugi. Na taj način se bolje iskorićava spektar frekvencija jer se smanjuje broj preambula i zaglavila okvira fizičkog sloja. Treba naglasiti da se u fizičkom sloju koristi Hamingov kod za ispravljanje grešaka u hodu. U skoro svim drugim mrežama, otkrivanje grešaka se prepusta kontrolnom zbiru i tada se zahtijeva ponovno slanje neispravnog okvira. Međutim, u širokopojasnom prenosu podataka na većem području očekuje se toliko grešaka da se one ispravljaju ne samo u višim slojevima pomoću kontrolnog zbira, već i u fizičkom sloju. Stvarnosti ali samo zato što je više od polovine bita namjenjeno ispravljanju grešaka u fizičkom sloju.

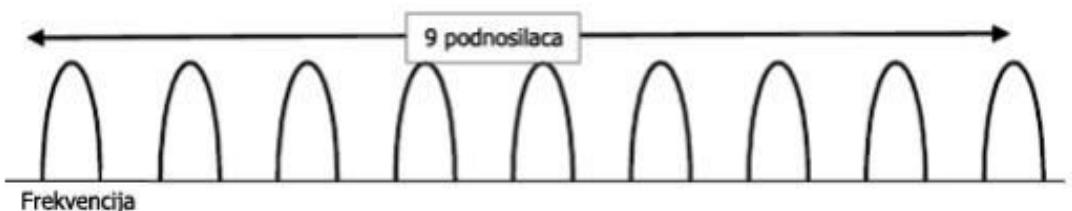
4.1 Uvod u OFDM

¹⁵IEEE 802.16 definiše dva modela OFDM sistema, jedan se jednostavno zove OFDM, drugi je OFDMA. OFDM, multipleksni sistem na bazi ortogonalne frekvencijske raspodijele kanala, je tehnika prenosa sa više nosilaca koja je u skorije vrijeme prepoznata kao odlična metoda za brze dvosmjerne bežične komunikacije za prenos podataka.

OFDM tehnika se pojavljuje šezdesetih godina prošlog vijeka ali je tek nedavno postala popularna jer su integrisane tehnologije, koje mogu obavljati digitalne operacije velikih brzina, postale dostupne. OFDM efektivno zbijaju više modulisanih nosioca, smanjujući potrebni frekventni opseg ali u isto vrijeme drži modulirane signale ortogonalnim tako da nema međusobne intreferencije među njima. Danas se ova tehnika koristi u sistemima kao što je ADSL1, IEEE 802.11a/g (sa 64 podnosilaca) (Wi-Fi) i IEEE 802.16 (WiMAX) sistemima.

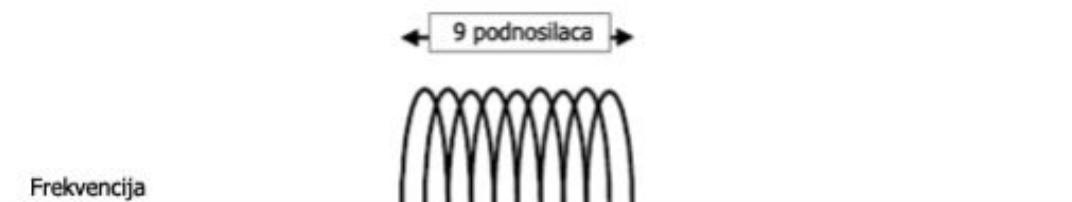
OFDM tehnika se bazira na starijoj FDM tehnici. FDM koristi više razčitih frekvencija za simultani paralelni prenos više signala. Svaki signal ima svoj frekventni opseg (podnosiocu) koji se potom moduliše podacima. Svaki podnosilac je razdvojen zaštitnim opsegom čime se osigurava da nema preklapanja signala. Ovi podnosioci se potom demodulišu na prijemnoj strani koristeći filtere kojima se razdvajaju opsezi (kanali).

¹⁵ Hadžib M. Salkić, Osnove Web tehnologija, Travnik 2019



¹⁶Slika 16. FMD tehnika sa 9 podnosilaca

OFDM tehnika je sličana FDM tehnicu ali mnogo spektralno efikasnija pošto raspoređuje kanale mnogo bliže jedne drugima, sve dok se oni zapravo ne preklope. Ovo se radi nalaženjem frekvencija koje su međusobno ortogonalene, što znači da su okomite u matematičkom smislu, dozvoljavajući spektru svakog kanala da se preklapa sa drugim bez međusobnog miješanja. Efekat ove tehnike je prikazan na slici 17. gdje vidimo da je potreban opseg uveliko smanjen uklanjajući zaštitne opsege i dozvoljavajući preklapanje signala. Da bi se signal demodulisao potrebna je diskretna Furijeova transformacija (DFT). Čip za brzu Furijeovu transformaciju je komercijalno dostupan, što ovu operaciju čini relativno lakov.

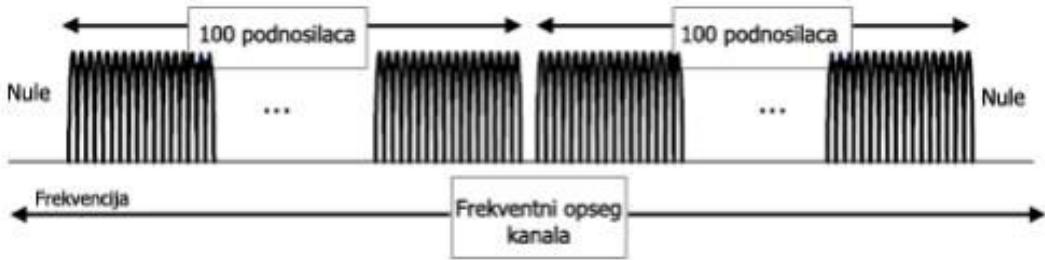


slika 17. OFMD tehnika sa devet podnosilaca

Kod OFDM tehnike imamo 256 podnosioca sa 192 podnosioca podataka, osam pilotskih podnosioca i 56 nula. U osnovnoj formi, svaki podnosilac podataka može biti setovan ili ne, čime se indicira bit nule ili jedinice date informacije. I PSK2 i QAM modulacioni postupci se tipično upotrebljavaju da bi se ubrzao prenos podataka. U ovom slučaju, niz podataka se dijeli u $n(192)$ paralelnih nizova podataka, svaki na $1/n$ ($1/192$) svoje originalne brzine. Svaki niz se potom mapira na individualni podnosilac podataka i moduliše se koristeći PSK ili QAM

¹⁶<file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>

postupak. Pilotski podnosioci pružaju referencu na minimiziranu frekvenciju i fazni pomak tokom prenosa dok podnosioci nule služe za zaštitne opsege i DC nosioce (centralna frekvencija). Svi podnosioci se šalju u isto vrijeme.



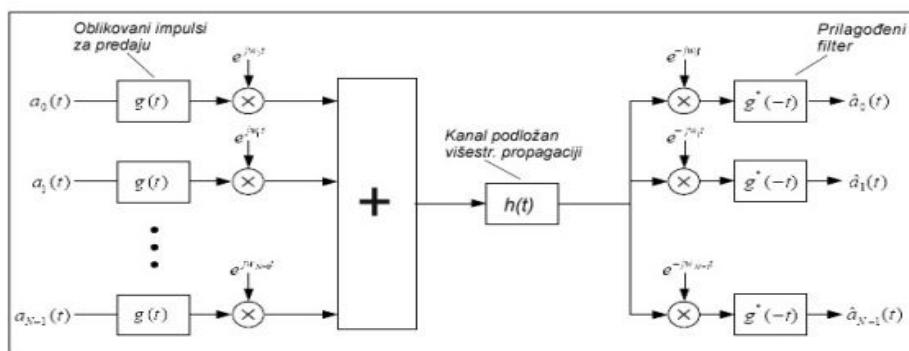
Slika 18. OFMD tehnika sa 256 podnositaca

OFDMA, tehnika pristupa na OFDM bazi, dozvoljava nekim podnosiocima da budu dodijeljeni različitim korisnicima. Na primjer, podnosioci 1, 3 i 7 mogu biti dodijeljeni korisniku 1 a podnosioci 2, 5 i 9 korisniku 2. Ove grupe podnositaca se zovu potkanali. Skalabilni OFMDA dozvoljava manju veličinu FFT-a da bi se poboljšala efikasnost za kanale sa manjim frekventnim opsegom. Sa SOFDMA je moguće smanjiti FFT sa 2048 na 128 da bi se efikasnije radilo sa opsezima od 1,25 do 20 MHz. Ovo omogućava da prostor podnositaca ostane konstantan nezavisno od frekventne širine kanala što smanjuje kompleksnost a istovremeno se omogućava veći FFT za bolje performanse sa širim frekventnim opsezima.

Još jedna prednost OFDM tehnike je otpornost na višestruko prostiranje elektromagnetskih talasa, odnosno na efekat višestruko reflektovanih signala koji stižu do prijemnika. Oni prouzorkuju interferenciju i slabljene selektivnih frekvencija a što je OFDM sposoban da prevaziđe koristeći paralelnu, sporiju prirodu svog frekventnog opsega. Ovo čini OFDM moćnom tehnikom za upotrebu u složenijim okruženjima bežičnih mobilnih komunikacija. Visoka spektralna efikasnost OFDM tehnike i otpornost na višestruko prostiranje elektromagnetskih talasa čini ga izuzetno pogodnom tehnologijom za postojeće zahtijeve bežičnog prenosa podataka.

4.2 Osnove OFDM tehnike multipleksiranja

¹⁷OFDM je tehnika multipleksiranja koja dijeli opseg od interesa na mnogo nosilaca (slika 17). Po OFDM tehnicici, ulazni tok podataka podijeljen je na nekoliko paralelnih tokova čija je brzina protoka redukovana (što produžava trajanje simbola) i svaki od njih se na poseban način moduliše i emituje po posebnom ortogonalnom nosiocu. Povećano trajanje simbola povećava otpornost OFDM-a na smetnje i kašnjenje. Šta više, uvođenje cikličnog prefiksa (CP) u potpunosti može eliminisati pojavu intersimbolske interferencije (ISI) sve dok je njegovo trajanje duže od trajanja vremena između pristizanja dva ista simbola uslijed višestruke propagacije (delay spread). Ciklični prefiks je obično ponovljeni poslednji dio bloka podataka (slika 19) koji je pridružen slijedećem bloku podataka. Ciklični prefiks onemogućava međublokovsku interferenciju, daje utisak da su kanali cirkularni i dozvoljava izjednačavanje u frekvencijskom domenu radi manje složenosti upotrebe frekvencija od interesa. Osnovna mana CP-a je smanjenost spektralne efikasnosti uslijed dodatka informacije. Pošto OFDM ima oštar, skoro vertikalni spektar, ostatak slobodnog područja može se iskoristiti za prenos podataka koji se koriste za poboljšanje gubitka efikasnosti zbog cikličnog prefiksa.

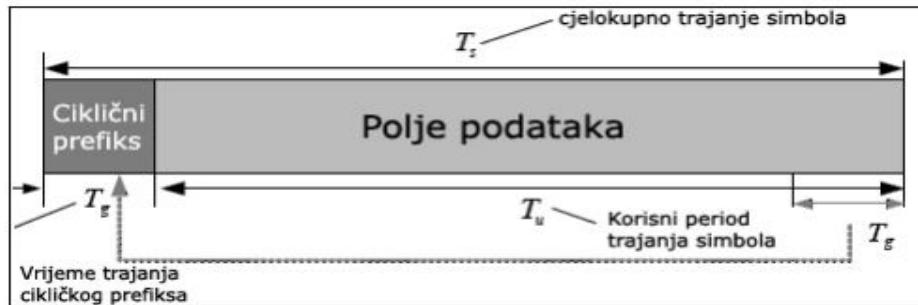


Slika 19. Osnovna arhitektura OFDM sistema

¹⁸Da bi se prevazišlo višestruko prostiranje, kod OFDM tehnike koristi se interliving („učešljavanje“) i kodiranje. Modulacija se realizuje pomoću inverzne Furijeove transformacije (IFFT1) što omogućava veliki broja potkanala (2048). Resursi se eksploratišu kroz vrijeme u pogledu OFDM simbola i kroz frekvenciju u pogledu podnosilaca. Oni se mogu podijeliti po podopsezima da bi mogli biti dodijeljeni 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.

¹⁷ Hadžib M. Salkić, Osnove Web tehnologija, Travnik 2019

¹⁸ http://eprints.uthm.edu.my/7517/1/ADEB_ALI_MOHAMMED_AHMED.pdf, 16.06.2019

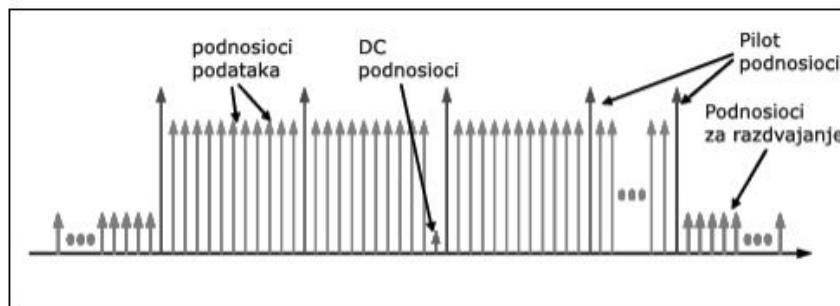


Slika 20. Položaj cikličnog prefiksa CP

4.3 Struktura OFDMA i potkanalizacija

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

- Podnosioci koji nose informaciju (podnosioci podataka) ;
- Pilotski podnosioci za procjenu stanja trase i sinhronizaciju;
- Podnosioci „nule“ koji služe za razdvajanje grupa informacionih kanala, i DC podnosioci koji se pojavljuju na početku prenosa i ne koristi se za prenos podataka (uvijek je nula).



¹⁹Slika 21. Struktura OFDMA

Aktivni podnosioci (informacioni i pilotski) grupisani su u potkanale. Fizički sloj WiMAX OFDMA podržava potkanalizaciju i u uplinku i u downlinku. Minimalna resursna jedinica potkanalizacije je jedan slot koji se sastoji od 48 informacionih podnosilaca (data tones). Postoje dva načina grupisanja podnosilaca u potkanale – Diverziti (metoda raznolikosti) i Granična metoda.

Diverziti metoda raspoređuje podnosioce po potkanalima pseudoslučajno. Na taj način stvaraju se frekvencijski diverziti i ujednačavanje intercelijske interferencije. Diverziti permutacija sastoji se od DL FUSC (u potpunosti iskorišćen podnosiak), DL PUSC

¹⁹ http://eprints.uthm.edu.my/7517/1/ADEB_ALI_MOHAMMED_AHMED.pdf

(dijelimično iskorišćen podnositac) i UL PUSC, ali sadrži i dodatne opcione permutacije. Kod DL PUSC za svaki par OFDM simbola, raspoloživi i korisni podnosioci grupisani su u klastere, koji sadrže 14 graničnih podnositaca po simbolu. Imaju različit razmještaj pilota i informacionih nosilaca u svakom od klastera određenih na osnovu parnih i neparnih simbola. Da bi se formirale grupe klastera koriste se šeme gdje je svaka od grupe sačinjena od klastera raspoređenih u okviru opsega podnositaca. Potkanal u grupi sadrži dva klastera, sačinjena od 48 informacionih podnositaca i 8 pilotskih podnositaca. Informacioni podnosioci svake grupe dalje su permutovani tako da stvaraju potkanale u okviru grupe. Informacioni podnosioci u klasteru podijeljeni su na više potkanala. Analogno strukturi downlink klastera, definisana je struktura za UL PUSC. Raspoloživi opseg je raspodijeljen na šest opsega izabranih iz čitavog spektra na osnovu šeme rearanžiranja i permutacije koji čine slot. Slot sadrži 48 informacionih podnositaca i 24 pilota u 3 OFDM simbola.

Granična permutacija grupiše podnosioce u blokove i na taj način stvara potkanale. Granična šema permutovanja takođe uključuje DL i UL adaptivnu modulaciju i kodiranje (AMC3) i ima istu strukturu. Blok se sastoji od 9 kontinualnih podnositaca po simbolu (8 informacionih i 1 pilot). Slot kod AMC je definisan kao skup blokova istog tipa ($N \times M = 6$) gdje je N broj graničnih blokova, a M je broj graničnih 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 permutacija dozvoljava diverziti ostvaren zahvaljujući velikom broju raspoloživih kanala (Multi-user Diversity) birajući kanal sa najboljim trenutnim karakteristikama. Može se zaključiti da su se diverziti permutacije pokazale boljima u slučaju mobilnih aplikacija, dok je Granična metoda permutacije bolja za upotrebu kod fiksne i sporopokretljive opreme.

4.4 Skalabilni OFDMA

Projekat IEEE 802.16e-2005 MAN OFDMA baziran je na koncepciji skalabilne OFDMA (SOFDMA), koja podržava širok spektar frekvencija, fleksibilnost adresiranja učesnika i potrebe za različitim frekventnim područjima u elektromagnetnom spektru (EMS). Skalabilnost je postignuta podešavanjem veličine brze Furijeove transformacije (FFT)

različitim opsezima kanala radi svođenja na isti frekventni razmak između nosilaca od 10,94 kHz. Pošto su širina kanala nosioca i trajanje simbola fiksni, uticaj na više nivoe ovako skaliranog opsega je minimalan. Parametri SOFDMA prikazani su u tabeli 3. Opsezi bitni za planirane profile za Izdanje-1 su 5 i 10 MHz (naznačeno u tabeli).

Tabela 3. OFDMA skalabilni parametri

PARAMETRI	VRIJEDNOSTI			
Kanalska širina (MHz)	1,25	5	10	20
Frekvencija semplovanja (Fp u MHz)	1,4	5,6	11,2	22,4
Veličina FFT-a (N_{FFT})	128	512	1024	2048
Broj potkanala	2	8	16	32
Razmak između nosilaca	10,94 kHz			
Korisno vrijeme trajanja simbola	91,4 ms			
Vrijeme razdvajanja	11,4 ms			
Trajanja OFDMA simbola	102,9 ms			
Broj OFDMA simbola	48			

4.5 Struktura vremenskog multipleksa

²⁰Fizički sloj 802.16e standarda podržava dupleks na bazi vremenske raspodijele (TDD), dupleks na bazi frekventne raspodijele (FDD) i poludupleksni FDD. U kategoriji mobilnog Wi-MAX-a uzima se TDD kao jedino rešenje. Inicijalno izdanje sertifikovanog profila mobilnog WiMAX-a uključuje samo TDD. Opciono će FDD biti uveden za korisnike u čijim 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 zahtjeva, TDD je pokazao preim秉stvo nad FDD-om zbog slijedećih osobina:

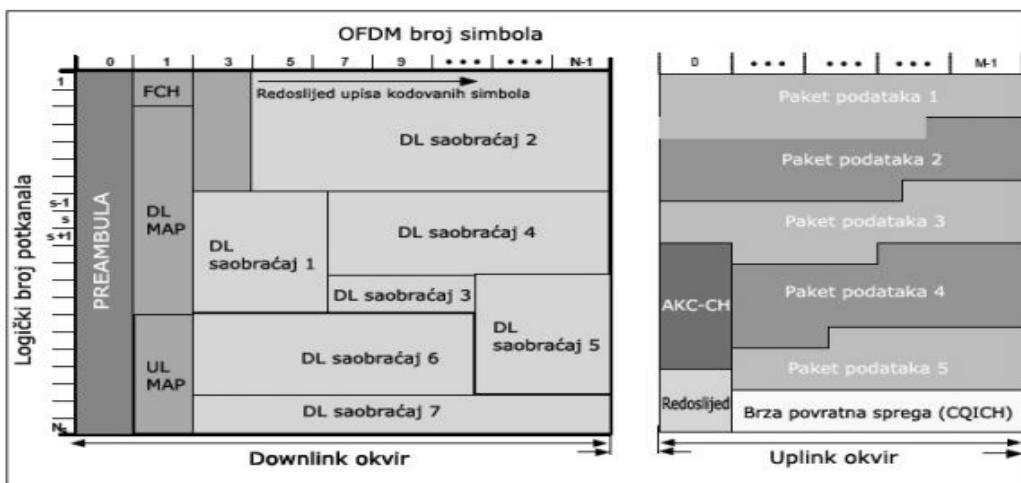
- TDD dozvoljava asimetričnost protoka uplink/downlink, dok FDD ima fiksni i u principu jednak protok po uplink-u i downlink-u;
- TDD obezbjeđuje reciprocitet kanala radi adaptiranja na trenutne uslove propagacije, što omogućuje MIMO i ostale tehnologije antenskih sistema;
- Za razliku od FDD-a, kojem su potrebna dva kanala, TDD-u je potreban jedan kanal za downlink i uplink, što izuzetno olakšava adaptaciju na zahtjeve iskorišćenosti EMS-a;

²⁰ <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>

- Primopredajnici koji podržavaju TDD umnogome su jednostavnije konstrukcije od onih koji koriste FDD.

Slika 22 ilustruje strukturu TDD rama. Svaki ram je podijeljen na DL i UL podramove razdvojene razmacima predaja/prijem i prijem/predaja koji spriječavaju međusobnu koliziju. Kontrolne informacije su dio rama koji obezbijeduje optimalne uslove za opšte izvršavanje operacija. Čine ih:

- Preamble: Koristi se za sinhronizaciju i ona je prvi OFDM simbol rama;
- Zaglavlj za kontrolu rama (FCH): Prati preambulu i nosi informaciju o ramu: dužina poruke u protokolu za pristup medijumu (MAP), šemi kodiranja i mogućnostima korišćenja nosilaca;
- DL-MAP i UL-MAP: Sadrže informaciju o dodijeli nosilaca i drugim kontrolnim informacijama u DL i UL podramu, respektivno;
- UL ranging kanal: Dodijeljen je mobilnoj stanici radi provjere frekvencije, napajanja i potreba za opsegom;
- UL CQICH3 kanal: Dodijeljuje se mobilnoj stanici radi povratne informacije baznoj stanici o stanju kanala;
- UL ACK4 : Služi mobilnoj stanici za potvrdu primljene informacije.



Slika 22. Struktura TDD OFDMA okvira

4.6 Ostale opcije i mogućnosti fizičkog sloja

Adaptivna modulacija i kodiranje (AMC), hibridni automatski zahtijev za potvrdom prijema (HARQ) i brz izveštaj o stanju kanala (CQICH) neke su od mogućnosti mobilnog WiMAX-a, posebno važne za mobilne aplikacije. HARQ je osmišljen tako da koristi „Stop and Wait“ (zastani i pričekaj) protokol koji omogućava brzo ispravljanje paketskih grešaka i održavanje veze na ivici ćelije. Saobraćaj DL može koristiti kvadraturnu modulaciju sa faznim pomakom (QPSK), kvadraturnu amplitudnu modulaciju (16QAM) i 64QAM, dok je kod UL-a 64QAM opciona vrsta modulacije. Konvolucioni kod (CC) i konvolucioni turbo kod (CTC) sa svojim mogućnostima promijenljive kodne brzine takođe su uključeni u mobilni WiMAX. Na osnovu plana bazne stanice (scheduler) za svakog korisnika posebno se sačinjava profil paketskog prenosa na osnovu veličine buffer memorije, uslova propagacije, vrste prijemnika, itd. Indikator kvaliteta kanala (CQI) koristi se radi planiranja ostvarivanja konekcije sa svakim korisnikom pojedinačno na osnovu informacije dobijene o stanju korisničkog kanala. Mogućnost programiranja retransmisije među baznim stanicama omogućava da se plan raspodijele resursa na baznoj stanci rastereti. AMC podržava adaptaciju kanala i pri brzinama od 120 km/h, što predstavlja dodatnu opciju. Tabela 4 predstavlja kodne i modulacione šeme podržane u profilu mobilnog WiMAX-a, opcioni UL kodovi i modulacija su naznačeni.

Tabela 4. Podržani kod i modulacija

		DL	UL
Modulacija		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Kodna brzina	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Ponavljanje	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Kombinacija različitih modulacionih i kodnih postavki pruža finu rezoluciju brzine prenosa podataka kao što je prikazano u tabeli 5. Tabela 5 prikazuje brizne prenosa za kanale od 5 i 10 MHz sa PUSC potkanalima. Dužina rama je 5 ms. Svaki ram ima 48 OFDM simbola sa 44 OFDM simbola slobodna za prenos podataka. Posebno naznačene vrijednosti pokazuju brizne prenosa podatka za opcioni 64QAM u UL.

Tabela 5. PHY prenos podataka sa PUSC poktkanalom

Parametri		Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Kanalska širina (MHz)		5		10	
Veličina FFT-a		512		1024	
Nule podnosioci		92	104	184	184
Pilotski podnosioci		60	136	120	280
Podnosioci informacija		360	272	720	560
Potkanali		15	17	30	35
Trajanja simbola (ms)			102,9		
Dužina rama (ms)			5		
Broj OFDMA simbola u ramu			48		
OFDM simboli podataka			44		
Mod.	Kodnabrzina	5 MHz kanal		10 MHz kanal	
		DL prenos Mb/s	UL prenos Mb/s	DL prenos Mb/s	UL prenos Mb/s
QPSK	$\frac{1}{2}$ CTC, 6X	0,53	0,38	1,06	0,78
	$\frac{1}{2}$ CTC ,4X	0,79	0,57	1,58	1,18
	$\frac{1}{2}$ CTC, 2X	1,58	1,14	3,17	2,35
	$\frac{1}{2}$ CTC, 1X	3,17	2,28	6,34	4,70
	$\frac{3}{4}$ CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
16QAM	$\frac{1}{2}$ CTC	6,34	4,57	12,07	9,41
	$\frac{1}{2}$ CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
64QAM	$\frac{1}{2}$ CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
	$\frac{2}{3}$ CTC	12,67	9,14	26,34	18,82
	$\frac{3}{4}$ CTC	14,26	10,28	28,51	21,17
	$\frac{5}{6}$ CTC	15,82	11,42	31,68	23,52

5.MAC SLOJ MOBILNOG WiMAX – A

Standard 802.16 razvijen je kao polazna osnova za omogućavanje širokopojasnih servisa, kao što su prenos glasa, podataka i pokretne slike. Sloj MAC baziran je na specifikaciji usluga prenosa podataka preko kabla, DOCSIS standardu i dozvoljava paketski prenos podataka sa veoma velikim protokom. Istovremeno je omogućen prenos pokretne slike i govora osijetljivog na kašnjenje po istom kanalu. Resursi koje MAC plan raspodjele (rasporedjivač) dodijeli terminalu mogu varirati od jednog vremenskog slota do čitavog 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 zahtijevanim resursima nalazi na početku svakog frejma (rama), plan raspodjele može uspješno promijeniti dodjelu resursa na frejm po frejm bazi, da bi adaptirao saobraćaj kako ne bi došlo do zagušenja.

5.1 Kvalitet servisa (QoS)

²¹Pošto kanali mobilnog WiMAX-a imaju velike brzine protoka, simetričan downlink/uplink kapacitet i fleksibilan mehanizam dodjele 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 izведен kroz sam tok servisa. To je neupućen tok paketa podržanih pojedinim QoS parametrima. Prije odlučivanja za konkretni tip servisa, bazna stanica i korisnički terminal, uz pomoć svojih MAC slojeva, ostvaruju neupućen logički link – konekciju. Zatim se, uz pomoć 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 raspodjele interfejsa za radio-vezu. Usmjereni na konekciju oni upravljaju ovim interfejsom. Pošto radio-interfejs po svojim opštim karakteristikama predstavlja usko grlo, QoS parametri konekcije uspješno omogućavaju kontrolu kvaliteta veze s kraja na kraj. Parametri toka servisa se u toku veze uspješno mogu adaptirati na dinamične promjene zahvaljujući MAC porukama. QoS baziran na toku servisa se primjenjuje i na uplink i na downlink poboljšavajući kvalitet QoS-a u oba smjera. Mobilni WiMAX podržava širok spektar servisa i aplikacija sa različitim QoS zahtijevima. Ovo je prikazano u tabeli 6.

²¹ Hadžib M. Salkić, Osnove Web tehnologija, Travnik 2019

Tabela 6. Mobilni WiMAX aplikacije i QoS

QoS kategorija	Aplikacija	QoS specifikacija
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna trajna brzina - Maksimalna tolerancija na latentnost - Tolerancija na "Jitter"
rtPS Real-Time Pocket Service	Streaming audio ili video	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna rezervisana brzina - Maksimalna trajna brzina - Maksimalna tolerancija na latentnost - Prioritet saobraćaja
ErtPS Extended Real-Time Pocket Service	Glas sa aktivnom detekcijom (VoIP)	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna rezervisana brzina - Maksimalna trajna brzina - Maksimalna tolerancija na latentnost - Tolerancija na "Jitter" - Prioritet saobraćaja
nrtPS Non-Real-Time Pocket Service	File Transfer Protocol (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna rezervisana brzina - Maksimalna trajna brzina - Prioritet saobraćaja
BE Best-Effort Service	Prenos podataka, internet pretraživanje, itd.	<ul style="list-style-type: none"> - Maksimalna trajna brzina - Prioritet saobraćaja

5.2 MAC Servis raspoređivanja

MAC servis raspoređivanja (plan rasподијеле) mobilnog WiMAX-a je dizajniran da efikasno pruži širokopojasni servis za podatke uključujući glas, podatke i video, preko vremenski promjenjливог širokopjasnog bežičnog kanala. MAC servis raspoređivanja ima slijedeće karakteristike koje omogućavaju širokopojasni servis za podatke:

Brzo raspoređivanje podataka: MAC raspoređivanje treba efikasno alocirati dostupne resurse kao odgovor na paketski saobraćaj podataka i vremenski promjenjljive kanalske uslove. Raspoređivač se nalazi na svakoj baznoj stanici da bi omogućio brz odziv na zahtjeve sobraćaja i uslove kanala. Paketi podataka su povezani sa servisnim tokom dobro definsanim QoS parametrima u MAC sloju tako da raspoređivač može korektno odrediti redoslijed prenosa paketa kroz vazdušni interfejs. CQICH kanal pruža brz povratak kanalskih informacija da bi omogućio raspoređivaču da izabere odgovarajuće kodiranje i modulaciju za svaku alokaciju. Adaptivna modulacija i kodiranje (AMC) kombinovani sa HARQ omogućavaju dobar prenos kroz pomjenjljiv kanal.

Raspoređivanje za DL i UL: Servis raspoređivanja je omogućen i za DL i za UL sobraćaj. S ciljem da MAC raspoređivač napravi efikasnu alokaciju resursa i omogući željeni QoS u UL, UL mora brzo vratiti preciznu informaciju o uslovima saobraćaja i QoS zahtijevima. Servisni tok UL-a definiše povratni mehanizam za svaku UL konekciju da bi osigurao uračunljiv odgovor UL raspoređivača. Pri tome, sa ortogonalnim UL potkanalima nema međučelijske interferencije. UL raspoređivač može alocirati resurse efikasnije i bolje potaknuti QoS.

Dinamička alokacija resursa: Mac podržava alokaciju resursa u domenu frekvencije i domenu vremena i za DL i za UL na bazi frejmova (ramova). Alokacija resursa se dostavlja MAP porukama na početku svakog frejma. Prema tome, alokacija resursa se može mijenjati od frejma do frejma u zavisnosti od uslova saobraćaja i kanala. Dodatno, količina resursa pri svakoj alokaciji može varirati od jednog slota do čitavog frejma. Brza i detaljna alokacija resursa dozvoljava superioran QoS za saobraćaj podataka.

QoS orijentisanost: MAC raspoređivač upravlja transportom podataka na bazi konekcija više konekcija. Svaka konekcija je vezana jednim servisom podataka sa setom QoS parametara što uvećava sposobnosti MAC raspoređivača. Sa mogućnošću dinamičke alokacije resursa i u DL i u UL, raspoređivač može pružiti superioran QoS i za DL i za UL saobraćaj. Posebno sa UL raspoređivanjem, UL resursi se efikasnije alociraju, lakše se predviđaju perfomanse, i QoS se bolje potiče.

Frekvencijski selektivno raspoređivanje: Raspoređivač može raditi sa različitim tipovima potkanalizacije. Za frekventno-diverzitne potkanale kao što je PUSC permutacija, gdje se podnosioci u potkanalima pseudoslučajno raspoređuju po opsegu, potkanali su ujednačenog kvaliteta. Frekventno-diverzitno raspoređivanje može podržati QoS detaljnim i fleksibilnim vremensko-frekventnim raspoređivanjem resursa. Graničnom permutacijom kao što je AMC permutacija, potkanali mogu osjetiti raličito slabljenje. Frekventno-diverzitno raspoređivanje može alocirati mobilne korisnike na njima korespondentne najjače kanale. Frekventno-diverzitno raspoređivanje može poboljšati sistemski kapacitet sa umjerenim povećanjem CQI overahead-a u UL.

5.3 Upravljanje mobilnošću

²²Trajanje baterije i handoff su dvije važne stavke za mobilne aplikacije. Mobilni WiMAX podržava Sleep Mode i Idle Mode da bi omogućio napojno-efikasne MS operacije. Mobilni

²² <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>

WiMAX, takođe, podržava blago prelazni handoff da bi omogućio prebacivanje MS-a sa jedne bazne stanice na drugu pri brzinama kretanja automobila bez prekidanja konekcije.

5.4 Sigurnost

Mobilni WiMAX podržava sigurnosne stavke koje su, može se reći, najbolje u klasi, što postiže usvajanjem tehnologija za koje se smatra da su danas najbolje. Podrška postoji za obostranu autentifikaciju uređaj-korisnik, fleksibilni protokol upravljanja ključevima, snažnu enkripciju sadržaja, zaštitu kontrolnih i upravljačkih poruka i optimizacije sigurnosnog protokola za brzi handoff. Korisnički aspekti sigurnosnih stavki su:

- Protokol upravljanja ključevima (Key Management Protocol): Protokol za upravljenje ključevima i privatnost verzije 2 (PKMv2) je osnova sigurnosti mobilnog WiMAX-a kao što je definisan u IEEE 802.16e. Ovaj protokol upravlja sigurnošću MAC-a koristeći PKM-REQ/RSP poruke. PKM EAP2 autentifikacija, kontrola enkripcije saobraćaja i handoff razmijena ključeva su bazirani na ovom protokolu.
- Uređaj-korisnik autentifikacija: Mobilni WiMAX podržava autentifikaciju uređaja i autentifikaciju korisnika koristeći IETF3 EAP protokol pružajući podršku za verifikacije koje su SIM bazirane, USIM bazirane, bazirane na digitalnom potpisu ili bazirane na “korisničko ime/lozinka” šemama. Odgovarajuće EAP-SIM, EAP-AKA , EAP-TLS ili EAP-MSCHAPv2 autentifikacione metode su podržane kroz AEP protokol.
- Enkripcija sadržaja: AES-CCM6 je šifovanje koja se koristi za zaštitu svih korisničkih podataka kroz MAC interfejs mobilnog WiMAX-a. Ključevi koji se koriste za šifovanje se generišu iz EAP autentifikacije. Mechanizam stanja enkripcije sadržaja koji ima periodični ključ (TEK) za osvježavanje mehanizma omogućava trajnu promijenu ključeva za dalju poboljšanu zaštitu.
- Zaštita kontrolnih poruka: Kontrolni podaci su zaštićeni koristeći AES baziran CMAC8 , ili MD59 bazirane HMAC10 šeme.
- Podrška za brzi handoff: ”3-way Handshake” (Trostruko rukovanje) šema je podržana od strane mobilnog WiMAX-a da bi se optimizvao reautentifikacioni mehanizam za podršku brzom handoff-u.

6. PERSPEKTIVA WiMAX TEHNOLOGIJE U OKRUŽENJU MOBILNIH MREŽA ČETVRTE GENERACIJE

6.1 4G telekomunikacijske mobilne mreže

²³Pružanje komunikacijskih usluga danas je koncentrirano oko operatera mobilne mreže, koji najveći dio svoje dobiti bazira na prijenosu glasa. Multimedijalni pružaoci i davatelji usluga (eng. service providers) kupuju svoje informacije, tj. sadržaj kojeg onda preprodaju (npr. televizijske programe) preko svoje infrastrukture. Zahtjevi koji su bili postavljeni pred 4G sisteme su :

- Globalni roaming kroz različite mobilne mreže
- Velika brzina prijenosa podataka
- Multipleksiranje više vrsta usluga preko jedne veze
- Podrška simetričnog i asimetričnog prijenosa
- Kompatibilnost sa sistemima druge generacije
- Efikasnije korištenje frekvencijskog spektra

Četvrta generacija telekomunikacijskih tehnologija, ili skraćeno 4G je posljednja generacija u razvoju telekomunikacijskih tehnologija. Direktni je nasljednik 3G telekomunikacijskih tehnologija, i pruža širokopojasni prijenos podataka. Najčešće se koristi u prijenosnim računalima, USB bežičnim modemima, pametnim telefonima i sličnim prijenosnim uređajima. Osim toga, ovu tehnologiju moguće primjenjivati i u IP (eng. Internet protokol)²⁴telefoniji, HD televiziji, video pozivima, 3D televiziji i umrežavanju računala. Glavna razlika između 3G i 4G mreže su brzina prijenosa podataka, metode prijenosa, pristupna tehnologija za internet, kompatibilnost sučelja s okosnicom mreže, kvaliteta usluge i zaštita. Mreža 4G nastala je zahvaljujući sve većoj potražnji za paketnim sadržajem koji ne spada pod klasičnu glasovnu telefoniju. Kako mreža napreduje, tako će morati biti i dostupan sve veći izbor sadržaja, kako bi se zadovoljile potrebe korisnika. Evolucija mreža korisniku pruža sve više izbora. Također 3G komunikacije su visoke brzine (2 Mbit/s i više), kao i broadband

²³ <https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/183-2013.pdf?fbclid=IwAR2bC1HpHv8GXMJYaGrGUms9J8bPYRbd85oT9aKEtZIn1HmzAG0eU4tl7U>, 17.06.2019

²⁴ <https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/183-2013.pdf?fbclid=IwAR2bC1HpHv8GXMJYaGrGUms9J8bPYRbd85oT9aKEtZIn1HmzAG0eU4tl7U>, 16.06.2019

servisi, kao što je poboljšana multimedija (npr. glasovni podaci i video itd.) privukli su sve više korisnika. Pružatelji usluga i mrežni operateri su tada već započeli sa prihvatanjem 3G standarda, kako bi svoje tehnološki zahtjevниje korisnike doveli pred što veći izbor. Jednostavno rečeno, 3G bežični mrežni sistemi predstavljaju pomak od glasovno orijentiranih sistema prema multimedijalno orijentiranim servisima, kao što su video, podatkovni i glasovni saobraćaj. Daljnji razvoj 3G mreže pokazao je eksploziju osobnih komunikacijskih uređaja i sistema koji su uspostavili slobodu komunikacije kroz mobilnost kao i širokopojasni bežični (eng. wireless) multimedijalni servis. Uređaji koji podržavaju 3G mrežu su veći radi više software-a u svojoj unutrašnjosti.

4.1 Sistemi 4G mobilnih mreža

Dva najčešće korištena sistema su:

Mobile WiMAX (eng. Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access – mobilna svjetska interoperabilnost za mikrovalni pristup) standard – prvi puta korišten u Južnoj Koreji 2006. godine

LTE (eng. Long Term Evolution – dugoročna evolucija) standard – prvi puta korišten u Norveškoj i Švedskoj 2009. godine. U Sjedinjenim Američkim Državama se WiMAX standard koristi od 2008. godine, a LTE standard od 2010. godine.

U Evropi se gotovo isključivo koristi WiMAX standard. Oprema rađena za različite države često nije kompatibilna, radi korištenja različitih frekventnih pojasa. International Telecommunications Union-Radio communications sector (skraćenica ITU-R) je 2008. godine izradio International Mobile Telecommunications Advanced (skraćenica IMT-Advanced) specifikaciju, kojom je standardizovano da sve 4G mreže rade sa brzinama do 100 Mbit/s kod visoko mobilne komunikacije (npr. prilikom vožnje vozom ili automobilom), te 1 Gbit/s kod nisko mobilne komunikacije (kao npr. prilikom pješačenja, ili kod stacionarnih korisnika). Od pokretanja prvih verzija Mobile WiMAX i LTE standarda do danas, pružena usluga nije dostigla propisanu brzinu od 1 Gbit/s, ali i dalje se, usprkos tome, smatraju 4G sistemima, ponajviše zahvaljujući tome što ih ITU-R smatra naprednim, i velikim tehnološkim skokom u odnosu na posljednje verzije 3G sistema, i sve prethodne generacije mobilnih komunikacija. Razlog tome je taj što ITU-R nije propisao nikakvu službenu definiciju ili granice između različitih verzija mobilnog komuniciranja.

Glavni kriterij pri klasificiranju određenog sistema u generacije su očekivanja korisnika, koji između dvije generacije očekuje drastičan skok. Kada se pojave osjetne razlike između dva sistema, oni se svrstavaju u različite generacije. To znači da se stariji sistemi i dalje koriste, a korisnik koji koristi taj stariji sistem, a samim time i pripadajuću infrastrukturu, dobija opciju korištenja novijeg sistema i infrastrukture tek kada plati njeno korištenje kupovinom novijeg uređaja, koji ima opciju korištenja te novije infrastrukture.

Osnovni Mobile WiMAX i LTE standardi se i dalje koriste, ali počelo ih se polako mijenjati sa novijim i poboljšanim inačicama, Mobile WiMAX izdanje 2 (eng. Mobile WiMAX release 2), te „Napredni LTE“ (eng. LTE Advanced) standardima. Od njih se očekuje potpuno zadovoljavanje IMT-Advanced propisa. U kontrastu sa prethodnim generacijama, 4G sistemi ne podržavaju tradicionalnu telefoniju komunikacijskog preklopnika (eng. circuit – switched) ali zato podržava IP bazirane komunikacije, kao što je IP telefonija. Trenutno je najbrži 3G bazirani standard HSPA+ (eng. Evolved High-Speed Packet Access – evoluirani više brzinski paketni pristup), koji je komercijalno dostupan od 2009. godine. Taj sistem nudi brzine od 28 Mbit/s prometa prema uređaju i 22 Mbit/s prometa od uređaja, što je sa najnovijom inačicom tog sistema poraslo na 42 Mbit/s prometa prema uređaju, pri korištenju jedne antene. Teoretska granica tog sistema je 672 Mbit/s, ali ona nije dosegnuta. Brzine koje ovaj sistem pruža spomenut je kako bi se video kontrast između njega, i onoga što je ITU-R propisao preko IMT-Advanced specifikacija za 4G mreže:

- Sistem mora biti baziran na IP paketno upravljanju mreži
- Sistem mora imati maksimalnu brzinu do 100 Mbit/s kod visoko mobilne komunikacije (npr. prilikom vožnje vozom ili automobilom)
- Sistem mora imati maksimalnu brzinu do 1 Gbit/s kod nisko mobilne komunikacije (npr. hodanja ili mirovanja)
- Sistem mora biti sposoban dinamički dijeliti i koristiti mrežne resurse kako bi podržao više korisnika po jedinici
- Sistem mora koristiti frekventni pojas od 5 do 20 MHz, a po potrebi i do 40 MHz
- Sistem mora biti izведен tako da 1Gbit/s prometa prema uređaju mora biti moguće izvesti u frekventnom pojasu ne širem od 67 MHz

- Sistem mora biti izведен tako da je prijelaz preko heterogenih mreža dostupan i bez prekida u komunikaciji
- Sistem mora biti sposoban pružati visoko kvalitetnu uslugu za multimedijalnu podršku nove generacije



²⁵Slika 23. WiMAX bazna stanica sa sektorskom antenom i modemom

6.2 MIMO tehnologija

Dostupna brzina WiMAX sistema ovisi o MIMO (eng. Multiple-Input Multiple-Output), tj. matematičkom modelu komunikacijskog sistema s više prijamnih i odašiljačkih antena. Bežična MIMO tehnologija koristi pojavu tzv. "višestrukih puteva" (eng. multipath) širenje signala za povećanje propusnosti i dometa signala ili smanjivanja pogrešaka kod prijenosa podataka, dok tradicionalna SISO tehnologija (eng. Single-Input SingleOutput) pokušava eliminisati efekte multipath širenja signala. Domet i frekventni raspon WiMAX sistema čine ga pogodnim za primjenu u sljedećim situacijama:

²⁵ <https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/183-2013.pdf?fbclid=IwAR2bC1HpHv8GXMJYaGrGUns9J8bPYRbd85oT9aKEtZIn1HmzAG0eU4tl7U>, 17.06.2019

- Pružanje mobilne širokopojasne povezivosti na području velikog radijusa
- Pružanje bežične alternative DSL sistemima
- Pružanje VoIP i IPTV usluga
- Pružanje internetskih usluga

Mobilni WiMAX osmišljen je kao kandidat za zamjenu nekih telekomunikacijskih tehnologija koje se koriste u mobilnim telefonima, kao što su GSM i CDMA, ili može biti korišten kao dodatak za povećavanje kapaciteta. WiMAX direktno podržava tehnologije koje imaju tripple – play mogućnost. Pod tripple play misli se na pružanje usluga kao što je IPTV, koje su zahtjevne po pitanju potreba za širinom frekventnog pojasa, brzog pristupa internetu i televiziji, te klasična telefonija.

7.ZAKLJUČAK

Potreba za širokopojasnim bežičnim pristupom Internetu stalno raste zahvaljujući razvoju novih uređaja, aplikacija te brzom načinu života koji je u posljednje vrijeme uzeo maha. Ljudi stalno negdje žure i imati brz pristup internetu dok se voze u automobilu, vozu, autobusu, je možemo reći, neprocjenjivo. Mobilni WiMAX upravo to pruža.

Dva sistemska profila, jedan baziran na IEEE 802.16-2004 reviziji IEEE 802.16 standarda i drugi baziran na IEEE 802.16e amandmanu, definišu dvije verzije WiMAXa. IEEE 802.16-2004 cilja zahtjeve fiksnih i nomadskih tržišta, i prvi je koji je postao komercijalno dostupan. IEEE 802.16e verzija je dizajnirana imajući na umu portabilne i mobilne pristupe, ali takođe podržava fiksni i nomadski pristup.

U bežičnim gradskim mrežama, WiMAX je odlično rješenje koje upotpunjuje druge bežične mrežne tehnologije koje su dizajnirane da rade u LAN mrežama, kao što je WiFi, ili mreže koje nude šиру pokrivenost ali sa ograničenim kapacitetom (GSM, CDMA, WCDMA, EV-DO). Povećani zahtjevi za bežične servise i mnogo određeniji zahtjevi dolazećih aplikacija su stvorile tržište u kojem višestruke bežične tehnologije, svaka sa svojom prednošću, mogu i moraju da egzistiraju zajedno da bi se zadovoljila očekivanja pretplatnika. Ključni izazov za servisne provajdere ja da razumiju koja uloga je najbolja za koju tehnologiju, kako se različite tehnologije međusobno nadopunjaju i kako one zadovoljavaju ekonomске zahtjeve.

WiMAX forum očekuje da će obje verzije WiMAX-a imati svoje uloge na tržištu, pošto svaka odgovara zahtjevima određenog segmenta tržišta. Operateri će morati odmjeriti razlike u perfomansama i funkcionalnosti koje 802.16-2004 i 802.16e WiMAX predstavljaju u različitim razvojnim tipovima i ciljanom tržištu. U mnogim slučajevima, spektralna dostupnost, regulatorni zahtjevi i pravodobnost će takođe biti ključni faktori za razmatranje. Izbor između dvije opcije daje vjerovatnoću da će operateri naći soluciju koja je odgovarajuća za njih.

Kada mrežni operateri razviju strategiju za dodavanje širokopojasnog servisa za personalnu upotrebu svojoj ponudi, očekivanja su da će prednosti koje donosi WiMAX u pogledu perfomansi, cijene i fleksibilnosti izaći na vidjelo. Upoređeno sa drugim trenutnim bežičnim tehnologijama, WiMAX nudi superiorne perfomanse, fleksibilniju mrežnu arhitekturu koja podupire interworking i roaming, ekonomski isplativu, interoperabilnu opremu. Ovo omogućava WiMAX-u da podrži bilo koju širokopojasno zahtjevnu aplikaciju koja radi u realnom vremenu na bilo kom uređaju, koristeći obični korisnički interfejs.

LITERATURA

Knjige i skripte

- [1] Veinović, M., Jevremović, A., Računarske mreže, Beograd 2016
- [2] Hadžib M. Salkić, Osnove Web tehnologije, Travnik, 2019
- [3] Hamedović, H., WLAN bežične lokalne računalne mreže, Priručnik za brzi početak, Zagreb 2016.

Magistarski radovi

- [1] Almedina Hatarić, Hijerarhijski protokoli rutiranja u bežičnim senzorskim mrežama sa heterogenim čvorovima, Travnik 2016.

Internet izvori:

- [1] http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf
- [2] https://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE_802.16x_-_STANDARDI_ZA_WiMAX_MREZE_Ivana_Behin.pdf
- [3] <file:///C:/Users/acer/Downloads/73201086-Diplomski-Rad-Mobilni-WiMAX-Sistem.pdf>,
- [4] <http://wimaxforum.org/>
- [5] [https://www.etrans.rs/common/archive/ETRAN_1955-2006/ET\(R\)AN_1955-2006/eTRAN/50.ETRAN.2006.3/ME/Iovic%20Cekic%20Josanovic%20Kapetanovic.ETRAN2006.pdf](https://www.etrans.rs/common/archive/ETRAN_1955-2006/ET(R)AN_1955-2006/eTRAN/50.ETRAN.2006.3/ME/Iovic%20Cekic%20Josanovic%20Kapetanovic.ETRAN2006.pdf)
- [6] http://eprints.uthm.edu.my/7517/1/ADEB_ALI_MOHAMMED_AHMED.pdf
- [7] <https://www.pfri.uniri.hr/knjiznica/NG-dipl.EITP/183-2013.pdf?fbclid=IwAR2bC1HpHv8GXMJYaGrGUrs9J8bPYRbd85oT9aKEtZln1HmzAG0eU4tl7U>

POPIS SLIKA

Slika 1. Grad pokriven WiMAX sistemom

Slika 2. WiMAX forum na globalnom nivou

Slika 3. Skup protokola mreže 802.16

Slika 4. Tipična IEEE 802.16 mreža

Slika 5. Arhitektura WiMAX sistema

Slika 6. Motorola WiMAX Smart Antena. Fiksni, nomadski i mobilni pristup

Slika 7. WiMAX toranj

Slika 8. WiMAX BTS

Slika 9. Unutrašnji modemi

Slika 10. WiMAX čip, Intel

Slika 11. WiMAX Unutrašnji modemi – primjena

Slika 12. WiMAX – vanjski modem

Slika 13. Motorola WiMAX korisnički uređaji za Fiksni, nomadski i mobilni pristup

Slika 14. Primjena IEEE 802.16 tehnologije

Slika 15. Područje mreže 802.16

Slika 16. FMD tehnika sa 9 podnositelja

Slika 17. OFMD tehnika sa devet podnositelja

Slika 18. OFMD tehnika sa 256 podnositelja

Slika 19. Osnovna arhitektura OFDM sistema

Slika 20. Položaj cikličnog prefiksa CP

Slika 21. Struktura OFDMA

Slika 22. Struktura TDD OFDMA okvira

Slika 23. WiMAX bazna stanica sa sektorskom antenom i modemom

POPIS TABELA

Tabela 1. Pregled evolucije IEEE 802.16 standarda

Tabela 2. Poređenje IEEE standarda za BWA

Tabela 3. OFDMA skalabilni parametri

Tabela 4. Podržani kod i modulacija

Tabela 5. PHY prenos podataka sa PUSC poktkanalom

Tabela 6. Mobilni WiMAX aplikacije i QoS

POPIS SKRAĆENICA

AAS Advanced Antenna System

ACK Acknowledge

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Loop

AES Advanced Encryption Standard

AM Accounting Management

AMC Adaptive Modulation and Coding

AP Access Point

ASN Access Service Network

ATM Asynchronous Transfer Mode

AWMS AirWave Wireless Management Suite

BS Base Station

BST Base Station Transceivers

BWA Broadband Wireless Access

CC Convolutional Code

CCI Cochannel Interference

CDMA Code Division Multiple Access

CI Connection Identifier

CIM Common Information Model

CPS Common Part Sublayer

CM Configuration Management

CMAC Cipher-based Message Authentication Code

CMIP Common Management Information Protocol

COTS Components Of The Shelf

CP Cyclic Prefix

CPE Customer Premises Equipment

CQI Channel Quality Identification

CQICH Channel Quality Identification Control Header

CSN Connectivity Service Network

CSTD Cyclic Shift Transmit Diversity

CTC Convolutional Turbo Code

D-AMPS Digital-Advanced Mobile Phone Service

DES Data Encryption Standard

DOCSIS Dataover-Cable Service Interface Specifications

DSL Digital Subscriber Line

EAP Extensible Authentication Protocol

EAP-AKA Extensible Authentication Protocol – Authentication and Key Agreement

EAP-TLS Extensible Authentication Protocol – Transport Layer Security

AES-CCM Advanced Encryption Standard – Counter with Chiper-block chaining Message authentication code

EDGE Enhanced Data rates for GSM Evolution

EESM Exponentially Effective SINR Map

ETSI European Telecommunication Standards Institute

EVDO Evolution Data Only-Evolution Data Optimized

FBSS Fast Base Station Switching

FDD Frequency Division Duplexing

FUSC Fully Used Sub-Carrier

FCH Frame Control Header

FTP File Transfer Protocol

GPRS General Packet Radio Service

GSM Global System for Mobile Communications

H-ARQ Hybrid-Automatic Repeat Request

HMAC Hash-based message authentication code

HHO Hard Handoff

HMAC Hash-based Message Authentication Code

HO Handoff

HTTP Hypre Text Transfer Protocol

HSDPA High Speed Downlink Packet Access

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF Internet Engineering Task Force

IFFT Inverse Fast Fourier Transform

IRP Integration Reference Point

ISDN Integrated Services Digital Network

ISI Inter-Symbol Interference

ISO International Standard

ISP Internet Service Provider

ITU International Telecommunication Union

LAN Local Area Network

LLA Logical Layer Arhitecture

LOS Line-Of-Site

MAC Media Access Control

MAN Metropolitan Area Network

MAP Media Access Protocol

MBS Multicast and Broadcast Service

MD5 Message-Digest 5 algorithm

MDH Macro Diversity Handover

MFA Management Functional Areas

MIB Management Information Base

MIMO Multiple Input Multiple Output

MS Mobile Station

MSK Minimum Shift Keying

NBI North Bound™ interfejs

NE Network Element

NEL Network Element Layer

NGOSS New Generation OSS

NLOS Non-Line-Of-Site

NML Network Management Layer

nrtPS non-real-time Polling Service

ODP Open Distributed Processing

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplex

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

OMA Object Management Architecture

OMG Object Management Group

OS Operation System

OSF Operations System Function Block

OSS/BSS Operation Support System/Business Support System

PCI Peripheral Component Interconnect

PCMCIA Personal Computer Memory Card International Association

PDA Personal Digital Assistant

PER Packet Error Rate PKMv2 Privacy and Key Management Protocol version

PKM EAP Privacy and Key Management Protocol Extensible Authentication Protocol

PM Performance Management

PSK Phase Shift Keying

PSTN Public Switched Telephone Network

PTM Point To Multipoint

PTP Point To Point

PUSC Partially Used Sub-Carrier

QAM Quadrature Amplitude Modulation

OLOS Optical Line Of Site QoS Quality of Service

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

RAN Radio Access Network rtPS real-time Polling Service

RUIM Removable User Identity Module

SAP Service Access Point

SC Service-specific Convergence sublayer

SIM Subscriber Identity Module

SF Security Management

SFN Single Frequency Network

SINR Signal to Interference plus Noise Ratio

SM Spatial Multiplexing

SML Service Management Layer

SNMP Simple Network Management Protocol

SOFDMA Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

SQL Structured Query Language

SS Spread Spectrum

SS Subscriber Station (WiMAX CPE)

STC Space-Time Code

TCP Transmission Control Protocol

TDD Time Division Duplexing

TEK Traffic Encryption Key

TTG Transmit/receive Transition Gap U

DP User Datagram Protocol

UGS Unsolicited Grant Service

UMTS Universal Mobile Telecommunications Service

URL Uniform Resource Locator

USIM Universal Subscriber Identity Module

VoIP Voice over Internet Protocol

WAN Wide Area Network Wi-Fi Wireless Fidelity

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access