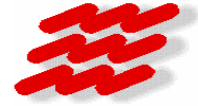




Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko

Seminarska naloga

# **Mobilni WiMAX 802.16e**

Mulej Aleš  
Ljubljana, Maj 2006

## Kazalo

1.	<i>UVOD</i> .....	- 7 -
1.1	WiMAX Forum.....	- 8 -
1.2	Misija Mobilnega WiMAXa (WiMAX mission) .....	- 9 -
2.	<i>FIZIČNI NIVO (PHY (PHISICAL LAYER))</i> .....	- 11 -
2.1	OFDM.....	- 11 -
2.2	Struktura OFDMA simbolov in porazdelitev podkanalov .....	- 14 -
2.2.1	DL logična ( <i>cluster</i> ) struktura.....	- 15 -
2.2.2	UL logična ( <i>cluster</i> ) struktura ali »Tile« .....	- 15 -
2.3	SOFDMA.....	- 15 -
2.4	Struktura paketov .....	- 17 -
2.5	Tipi modulacij .....	- 18 -
3.	<i>POVEZOVANJE BS IN MS (RANGING)</i> .....	- 20 -
3.1	Računanje napake v času (Timing offset calculation) .....	- 21 -
4.	<i>MAC (MEDIUM ACCESS CONTROL)</i> .....	- 23 -
4.1	Kvaliteta storitev (QoS ( <i>Quality of Service</i> )) .....	- 23 -
4.2	Storitve MAC opravilnika (MAC Scheduling Service) .....	- 25 -
4.3	Mobilnost ( <i>Mobility</i> ) .....	- 25 -
4.4	Konec povezave ( <i>Handoff</i> ) .....	- 26 -
4.5	Varnost ( <i>Security</i> ) .....	- 27 -
5.	<i>NAPREDNE TEHNOLOGIJE (ADVANCED FEATURES OF MOBILE WiMAX)</i> .....	- 28 -
5.1	Tehnologija pametnih anten ( <i>Smart Antenna Technologies</i> ) .....	- 28 -
5.2	FFR ( <i>Fractional Frequency Reuse</i> ) .....	- 29 -
5.3	MBS ( <i>Multicast and Broadcast Service</i> ) .....	- 30 -
5.4	WiMAX zanesljivost ( <i>WiMAX MAP Reliability and overhead</i> ) .....	- 31 -
6.	<i>PERFORMANČNE ZMOGLJIVOSTI MOBILNEGA WiMAXA</i> .....	- 32 -
7.	<i>WiMAX ARHITEKTURA (END-TO-END WiMAX ARCHITECTURE)</i> .....	- 34 -
8.	<i>APLIKACIJE MOBILNEGA WiMAX (MOBILE WiMAX APPLICATIONS)</i> .....	- 37 -
8.1	Mobilnost mobilnega WiMAX v primerjavi z ostalimi različnimi standardi .....	- 38 -
9.	<i>ČASOVNI RAZVOJ (ROADMAP)</i> .....	- 39 -

## Kazalo slik

<i>Slika 1-1: Logotip WiMAX Foruma</i> .....	- 8 -
<i>Slika 1-2: Profil mobilnega WiMAXa</i> .....	- 10 -
<i>Slika 2-1: Primerjava spektrov FDMA in OFDM</i> .....	- 11 -
<i>Slika 2-2: Ortogonalnost posameznih frekvenčnih podpasov</i> .....	- 12 -
<i>Slika 2-3: Časovni prikaz OFDM modulacije</i> .....	- 12 -
<i>Slika 2-4: Blok shema OFDM modulatorja/demodulatorja</i> .....	- 13 -
<i>Slika 2-5: Struktura OFDMA simbola</i> .....	- 14 -
<i>Slika 2-6: Slika DL logične struktura</i> .....	- 15 -
<i>Slika 2-7: Slika UL logične strukture »Tile«</i> .....	- 15 -
<b><i>Slika 2-8: WiMAX OFDMA TDD časovna struktura</i></b> .....	- 17 -
<i>Slika 3-1: Začetni »ranging« z dvema OFDMA simboloma</i> .....	- 21 -
<i>Slika 3-2: windows</i> .....	- 22 -
<i>Slika 4-1: Blok shema kvalitete storitev</i> .....	- 23 -
<i>Slika 4-2: Prikaz menjave BS</i> .....	- 26 -
<i>Slika 5-1: Ponovna uporaba frekvenčnih podpasov</i> .....	- 30 -
<i>Slika 7-1: Mrežna arhitektura WiMAX tehnologije</i> .....	- 34 -
<i>Slika 7-2: Natančnejša mrežna arhitektura WiMAX tehnologije</i> .....	- 35 -
<i>Slika 8-1: Aplikacije mobilnega WiMAX</i> .....	- 37 -
<i>Slika 8-2: Primerjava Wimax – ostali standardi</i> .....	- 38 -
<i>Slika 9-1: Časovni plan razvoja WiMAX tehnologije</i> .....	- 39 -

## Kazalo tabel

<i>Tabela 1-1: Tabela kratic</i> .....	- 6 -
<i>Tabela 2-1: Parametri SOFDMA modulacije</i> .....	- 16 -
<i>Tabela 2-2: Podprte modulacije</i> .....	- 18 -
<i>Tabela 2-3: Hitrosti prenos podatkov z uporabo PUSC</i> .....	- 19 -
<i>Tabela 4-1: Tabela storitev kvalitete</i> .....	- 24 -
<i>Tabela 5-1: MIMO AAS</i> .....	- 28 -
<i>Tabela 5-2: Primerjava performanc SIMO ter MIMO sistema</i> .....	- 29 -
<i>Tabela 6-1: Performančna testa</i> .....	- 32 -
<i>Tabela 6-2: Hitrosti MS ta performančne teste</i> .....	- 32 -
<i>Tabela 6-3: Rezultati performančnih testov</i> .....	- 33 -

## Kratice

3GPP	3G Partnership Project
3GPP2	3G Partnership Project 2
AAS	Adaptive Antenna System also Advanced Antenna System
ACK	Acknowledge
AES	Advanced Encryption Standard
AG	Absolute Grant
AMC	Adaptive Modulation and Coding
A-MIMO	Adaptive Multiple Input Multiple Output (Antenna)
ASM	Adaptive MIMO Switching
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ASN	Access Service Network
ASP	Application Service Provider
BE	Best Effort
BRAN	Broadband Radio Access Network
BS	Base Station
CC	Chase Combining (also Convolutional Code)
CCI	Co-Channel Interference
CCM	Counter with Cipher-block chaining Message authentication code
CDF	Cumulative Distribution Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CINR	Carrier to Interference + Noise Ratio
CMAC	block Cipher-based Message Authentication Code
CP	Cyclic Prefix
CQI	Channel Quality Indicator
CSN	Connectivity Service Network
CSTD	Cyclic Shift Transmit Diversity
CTC	Convolutional Turbo Code
DL	Downlink
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DVB	Digital Video Broadcast
EAP	Extensible Authentication Protocol
EESM	Exponential Effective SIR Mapping
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ErtVR	Extended Real-Time Variable Rate
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FBSS	Fast Base Station Switch
FCH	Frame Control Header
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
FTP	File Transfer Protocol
FUSC	Fully Used Sub-Channel

---

HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
HHO	Hard Hand-Off
HiperMAN	High Performance Metropolitan Area Network
HMAC	keyed Hash Message Authentication Code
HO	Hand-Off
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IE	Information Element
IEFT	Internet Engineering Task Force
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IR	Incremental Redundancy
ISI	Inter-Symbol Interference
LDPC	Low-Density-Parity-Check
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MAI	Multiple Access Interference
MAN	Metropolitan Area Network
MAP	Media Access Protocol
MBS	Multicast and Broadcast Service
MDHO	Macro Diversity Hand Over
MIMO	Multiple Input Multiple Output (Antenna)
MMS	Multimedia Message Service
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MS	Mobile Station
MSO	Multi-Services Operator
NACK	Not Acknowledge
NAP	Network Access Provider
NLOS	Non Line-of-Sight
NRM	Network Reference Model
nrtPS	Non-Real-Time Packet Service
NSP	Network Service Provider
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PER	Packet Error Rate
PF	Proportional Fair (Scheduler)
PKM	Public Key Management
PUSC	Partially Used Sub-Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RG	Relative Grant
RR	Round Robin (Scheduler)
RRI	Reverse Rate Indicator
RTG	Receive/transmit Transition Gap
rtPS	Real-Time Packet Service
RUIM	Removable User Identify Module
SDMA	Space (or Spatial) Division (or Diversity) Multiple Access

---

---

SF	Spreading Factor
SFN	Single Frequency Network
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHO	Soft Hand-Off
SIM	Subscriber Identify Module
SINR	Signal to Interference + Noise Ratio
SISO	Single Input Single Output (Antenna)
SLA	Service Level Agreement
SM	Spatial Multiplexing
SMS	Short Message Service
SNIR	Signal to Noise + Interference Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
S-OFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SS	Subscriber Station
STC	Space Time Coding
TDD	Time Division Duplex
TEK	Traffic Encryption Key
TTG	Transmit/receive Transition Gap
TTI	Transmission Time Interval
TU	Typical Urban (as in channel model)
UE	User Equipment
UGS	Unsolicited Grant Service
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telephone System
USIM	Universal Subscriber Identify Module
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
VSF	Variable Spreading Factor
WiFi	Wireless Fidelity
WAP	Wireless Application Protocol
WiBro	Wireless Broadband (Service)
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

***Tabela 1-1: Tabela kratic***

## 1. Uvod

WiMAX (*Wireless Interoperability for Microwave Access*) je okrajšava za skupek brezžičnih protokolov. Temelji na tehnični specifikaciji, ki jo je razvil IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) oziroma delovna skupina Wireless MAN 802.16.

Standardi pod nazivom 802.16 opredeljujejo omrežne protokole, ki naslavlajo širokopasovne brezžične podatkovne komunikacije na razširjenem geografskem območju – MAN (*metropolitan area network*). 802.16 je sprva pokrival tehnologije, ki se nanašajo na frekvenčni spekter med 2GHz in 10GHz, vendar so kasneje spodnjo mejo odstranili.

Prva specifikacija je bila končana leta 2001, ter je ciljala na veliko pasovno širino z uporabo visoke nosilne frekvence ter se tako omejila na povezovanje zgolj v vidni ravnini LOS (*Line Of Side or fixed line*). WiMAX uporablja modulacije iz razreda W-OFDM (*Wideband Orthogonal Frequency Division Multiplex*), mobilna specifikacija pa SOFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*).

V nadaljnjem razvoju, nastane večje število standardov oziroma specifikacij. Standard 802.16a že omogoča delovanje v okolju, kjer ni vidne črte med oddajnikom ter sprejemnikom NLOS (*Non line of sight*). V tem času je koordinacijo nad samim WiMAX standardom že prevzela industrijska organizacija WiMAX forum. Le ta je poskrbel tudi za usklajevanje s podobno evropsko specifikacijo ETSI HyperMAN (*European Telecommunications Standards Institute*).

Odmevnejša standarda sta predvsem 802.16d ter 802.16e.

Standard 802.16d ali 802.1-2004 je prvenstveno namenjen fixnim odjemalcem kot cenovna alternativa kablskih ali xDSL storitev. Uporablja OFDM modulacijo ter je specificiran za frekvenčno območje pod 11GHz. Standard opredeljuje tudi sisteme kot so: AAS (*Antenna Adaptive System*) ter STC (*Space Time Coding*), toda le kot opcija. Omogoča tudi nastavljivo dolžino FFT-ja (zahtevana 256, opcija 1024) ter nastavljivo dolžino časa trajanja OFDM simbola ter navsezadnje tudi različne pasovne širine.

Zadnji sprejeti standard je 802.16e, katerega glavna naloga je pokrivanje mobilnosti. Specifikacije zahtevajo mobilnost samega uporabnika (SS – *subscriber station*) vse do 125km/h. Kot glavni temelj mobilne komunikacije se uporablja SOFDMA modulacija. Za kanalsko kodiranje se uporablja zahtevano CC(*convolutional code*) kodiranje, opsijsko pa tudi BTC(*block turbo code*) kodiranje, CTC (*convolutional turbo code*) kodiranje in LDPC (*low density parity*

*check code*) kodiranje. Sami podatki so razpršeni (*randomized*) z dodanimi dodatnimi signali (*interlived*), kar izboljša sam prenos podatkov. Standard tudi predvideva uporabo AAS (*Antenna Adaptive System*), STC (*Space Time Coding*) in MIMO (*multiple in, multiple out*) sistemov. CDMA (*Code Division Multiple Access*) kode se uporabljajo za začetno vzpostavitev veze (*initial ranging*), periodično preverjanje veze (*periodical ranging*), zahtevo frekvenčnega pasu (*bandwidth request*) ter končanje veze (*handoff*). Standard 802.16e je podrobneje opisan oziroma predstavljen v tem dokumentu.

## 1.1 WiMAX Forum

Udeleženci v zgodbi WiMAX so nadaljevali na uspešnem trgu prijazne a uspešne organizacije Wi-Fi Alliance. Organizacija WiMAX Forum predstavlja agresivno in progresivno industrijsko skupino, ki se ukvarja tako z marketingom in prodorom pojma WiMAX v širšo javnost, kot s pomočjo industriji – pri koordinaciji, interpretaciji in spremembah originalne, precej ohlapno napisane specifikacije 802.16, pripravlja pa tudi programe interoperabilnostnega testiranja, ki bo zagotovil široko izbiro cenovno ugodne opreme.



*Slika 1-1: Logotip WiMAX Foruma*



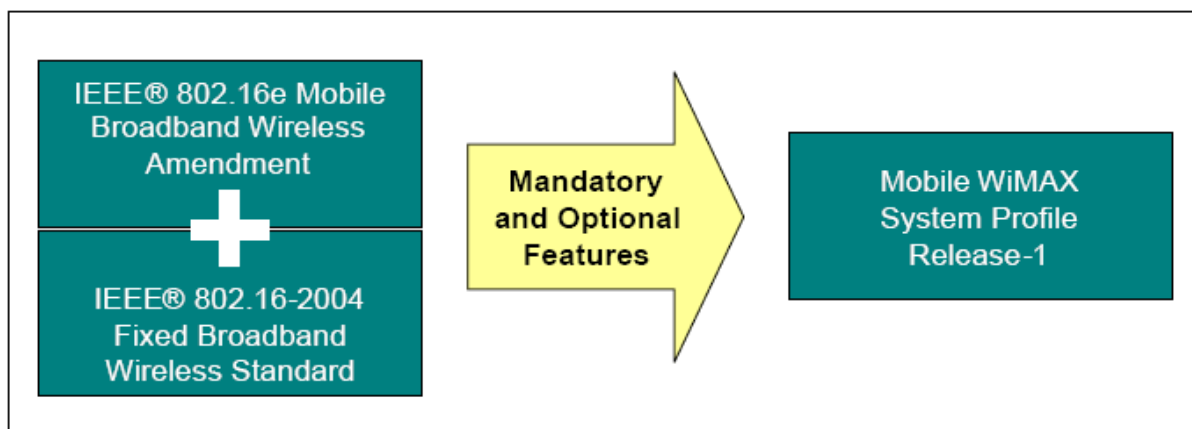
Verjetno ključna naloga foruma je zagotoviti interoperabilnost ter hkrati prebuditi trg (marketing). Prdvsem slednje je postalo precej lažje, ko je za skupni cilj pridružil tudi Intel.

WiMAX forum je uradno neprofitna organizacija. Odstranjevanje zadnje prepreke pred množično uporabo – zagotoviti in prikazati interoperabilnost med sistemskimi komponentami, ki jih razvijajo OEM proizvajalci, je v teku. WiMAX razvija teste za skladnost in interoperabilnost. Proizvajalce, ki uradno (laboratorijske) teste opravijo, bo WiMAX forum podelil naziv »WiMAX Certified«.

Interoperabilnost zagotavlja uporabniku, da s tem lahko kupi katerokoli WiMAX napravo, ter le ta deluje z vsemi napravami certificiranimi po istem standardu – oziroma zagotavlja ponudniku storitev izgradnjo velikega omrežja, s tem da z opremo ni vezan samo na enega proizvajalca, temveč lahko v vsakem hipu izbere boljšega ponudnika. Sam IEE tega ne zagotavlja. Toda dejstva kažejo, da je to ključni korak pred množično uporabo, vzela v roke privatna industrijska organizacija. V primeru Wi-Fi (802.11) je bil to Wi-Fi Alliance. Za BWA (*broadcast wireless access*) in njegov standard 802.16 pa je to WiMAX forum.

## 1.2 Misija Mobilnega WiMAXa (WiMAX mission)

Mobilni Wimax je širokopasovna brezžična rešitev (*broadband wireless solution*), ki vključuje mobilnost ter širokopasovni dostop primerljiv z fiksnimi mediji (xDSL, kabel, ...) in tudi zelo dinamično mrežno arhitekturo. Ogradje WiMAXa je SOFDMA modulacija z izboljšano robustnostjo na odboje in delovanjem v okolju, kjer ni vidne črte med oddajnikom ter sprejemnikom NLOS. Sama pasovna širina se lahko spreminja od 1.25MHz do 20MHz. Skupina MGT (*Mobile Technical Group*), ki deluje v okviru WiMAX Forum razvija ter narekuje obvezne kot tudi opsijske funkcionalnosti mobilnega WiMAXa v okviru IEEE standarda, katere so potrebne za izgradno omrežja certificiranega na WiMAX forumu. Skupni naziv za te funkcionalnosti je Wimax System profile. Trenutno je v izdelavi dokument z imenom »Mobile WiMAX System Profile Release-1«, ki mora biti končan nekje v letu 2006. Ta dokument zajema najpomembnejše zahteve standarda 802.16 za zagotovitev iteroperabilnosti. Dokument zajema pasovne širine 5, 7, 8.75 in 10MHz ter naslednja frekvenčna območja: 2.3GHz, 2.5GHz in 3.5GHz.



Slika 1-2: Profil mobilnega WiMAXa

Mobilni WiMAX omogoča fleksibilnost tako na radijskem delu, kot tudi na mrežni arhitekturi.

Glavne prednosti mobilnega WiMAXs so:

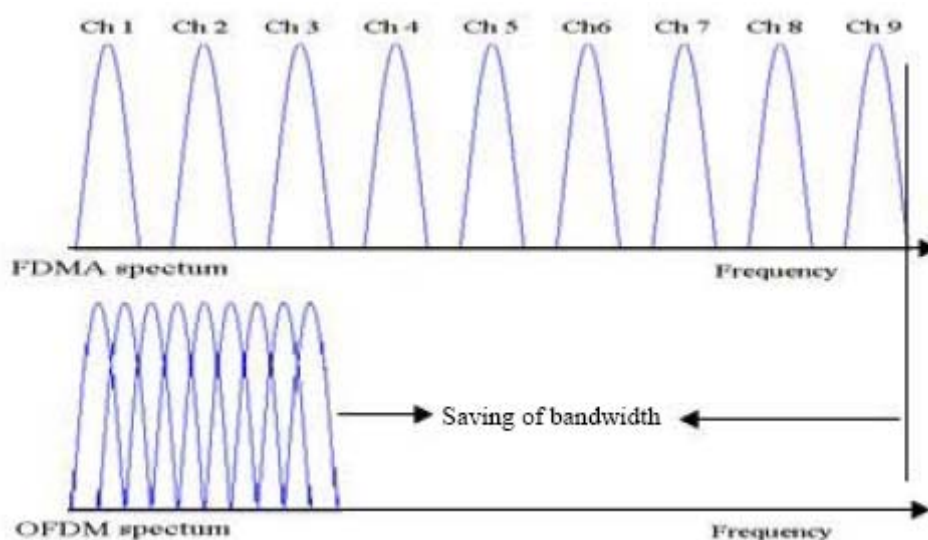
- **Doseganje velikih hitrosti (*High Data Rates*):** Z uporabo MIMO antenskih tehnologij in SOFDMA modulacije, ter uporabe naprednih modulacijskih algoritmov omogoča mobilnemu WiMAXu hitrosti do 63Mbps na sektor v DL (*down link*) in v UL (*up link*) hitrosti do 28Mbps na sektor v 10MHz frekvenčnem pasu.
- **Kvaliteta ponudbe (*Quality of Service QoS*):** Glavni temelj MAC (Medium Access Control) je zmogljivost uporabe kvalitete ponudbe (QoS). Definira časovne poteke, kot tudi uporabo medfrekvenčnih pasov, za optimalno uporabo resource-ov.
- **Funkcionalnost (*Scalability*):** Glede na naraščajoče zahteve po mobilnih širokopasovnih komunikacijah, kot tudi uporabi čim ožjih frekvenčnih pasov po svetu, mobilni WiMAX omogoča uporabo pasovnih širin od 1.25MHz do 20MHz, s čimer zadovolji vsem svetovnim zahtevam, za dlje časa. Poleg tega zadovolji zahtevam v uralnem okolju po dokaj kvalitetni povezavi, kot tudi zahtevam v mestnem okolju po širokopasovni povezavi.
- **Zaščita (*Security*):** Mobilni WiMAX omogoča uporabo naprednih kodirnih algoritmov kot so: EAP (*Extensible Authentication Protocol*) avtorizacije, AES-CCM (*Advanced Encryption Standard*) avtorizacijsko kodiranje kot tudi uporabo CMAC in HMAC kodirnih sporočil. Omogoča tudi uporabo raznovrstnih SIM/USIM kartice, pametnih kartic (*smart cards*), digitalnih certifikatov, itd.
- **Mobilnost (*Mobility*):** Mobilni WiMAX omogoča zakasnitve, ki so krajše od 50 ms, tako zagotovi zahtevam aplikacij, ki delujejo v realnem času (*real time applications*), kot je recimo VoIP (*voice over IP*).

## 2. Fizični nivo (*PHY (physical layer)*)

Eden izmed omejitvenih faktorjev visokih performans v mobilnih komunikacijah je ISI (*Inter Symbol Interference*). Njen vzrok je množica odbojnih signalov, ki pridejo v sprejemnik poleg glavnega oddanega signala. Ena izmed rešitev je uporaba OFDM modulacije, katere bistvena lastnost je podaljšanje časa trajanja simbola ter sočasno pošiljanje večjega števila simbolov na različnih frekvencah (medfrekvencah) (*multicarrier system*). Problem takšnih rešitev pa je ICI (*Inter Carrier Interference*), ki predstavlja izgubo ortogonalnosti med posameznimi medfrekvenčnimi podpasovi. Rešitev je uporaba ciklične predpone (*cyclic prefix*) na vsak simbol. Za boljše dekodiranje signala se uporabljajo tudi pilotski simboli (to so poznani simboli) s pomočjo katerih lahko dekodek dekodira tudi ostale simbole. OFDM modulacija zahteva tudi sinhronizacijo med oddajnikom in sprejemnikom v nasprotnem primeru se močno povečata ISI in ICI.

### 2.1 OFDM

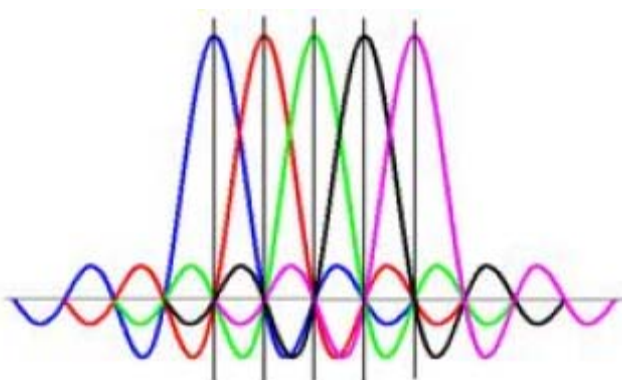
OFDM modulacija je modulacija z uporabo večjega števila medfrekvenčnih ter dolgim časom trajanja enega simbola. Frekvenčni pasovi pri OFDM modulaciji so zelo blizu skupaj, zato je nujno potrebno, da so med seboj ortogonalni istočasno pa OFDM modulacija predstavlja boljši izkoristek pasovne širine. Največja slabost OFDM modulacije je zahteva po popolni sinhronizaciji med sprejemnikom in oddajnikom, saj le tako je mogoče zagotoviti ortogonalnost med posameznimi frekvenčnimi pasovi.



**Slika 2-1:** Primerjava spektrov FDMA in OFDM

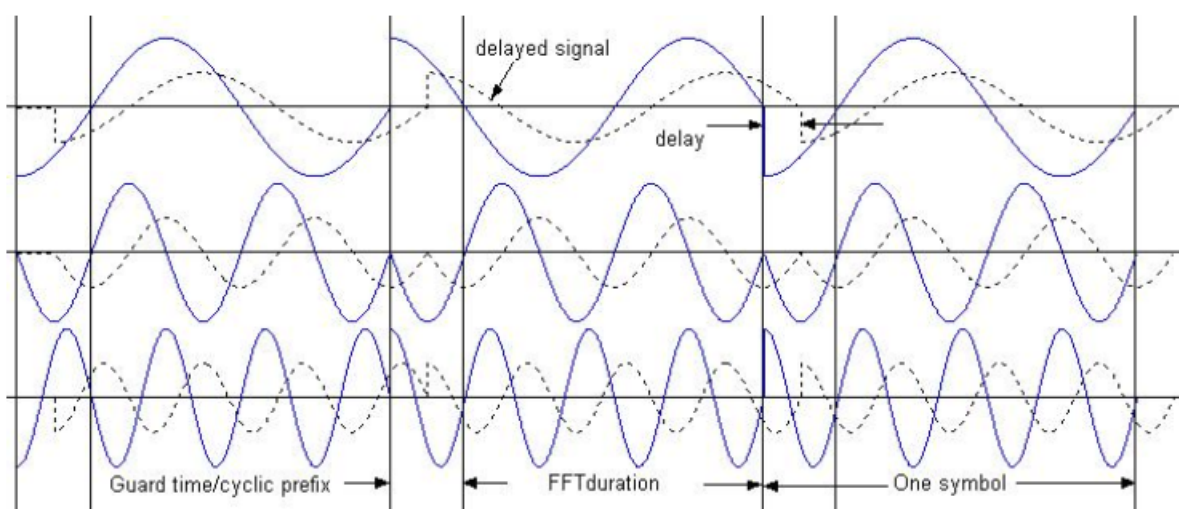
Klub zgornji slabosti vsebuje OFDM modulacija veliko pozitivnih lastnosti, kar je glavni razlog uporabe te modulacije. Klasično slabljenje (*typical fading*) vpliva le na določene podpasove, ki pa se kompenzirajo z uporabo razpršenosti (*interlaving*) in kanalskih kodiranj. Implementacija OFDM modulacije v digitalnih sistemih je precej preprosta z uporabo IFFTja (*Inverse Fourier Transform*) na oddajniku in uporabo FFTja (*Fourier Transform*) pri sprejemniku.

Z podaljševanjem simbola (*added cyclic prefix*) v času varovanja (*guard time*), se zmanjša tudi ICI.



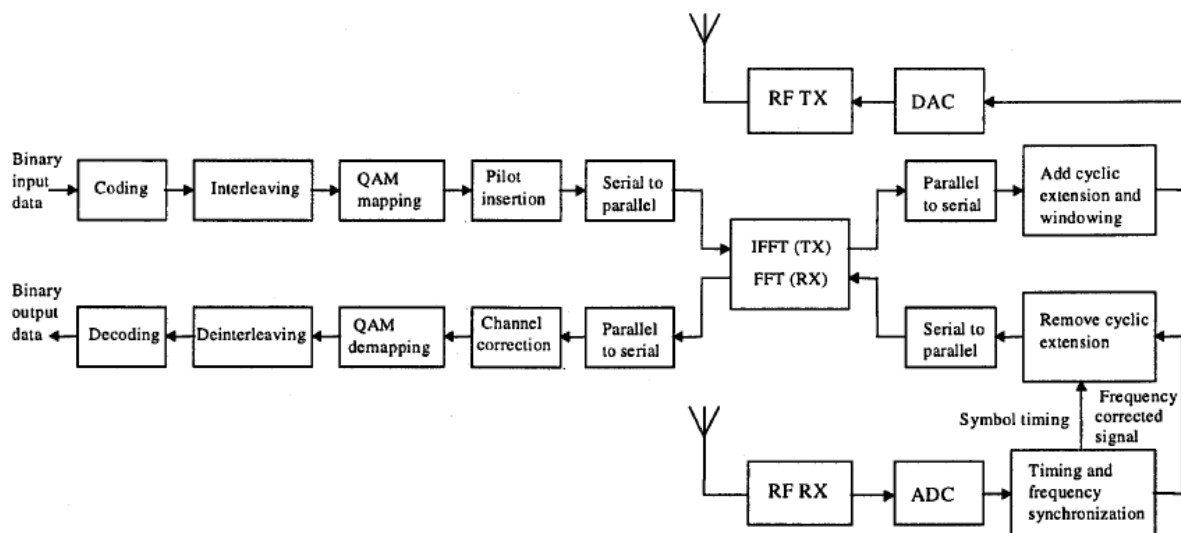
**Slika 2-2:** Ortogonalnost posameznih frekvenčnih podpasov

Spodnji primer prikazuje OFDM signal treh frekvenčnih podpasov ter enim odbojem (črtkasto). Sprejemnik seveda »vidi« vsoto vseh signalov.



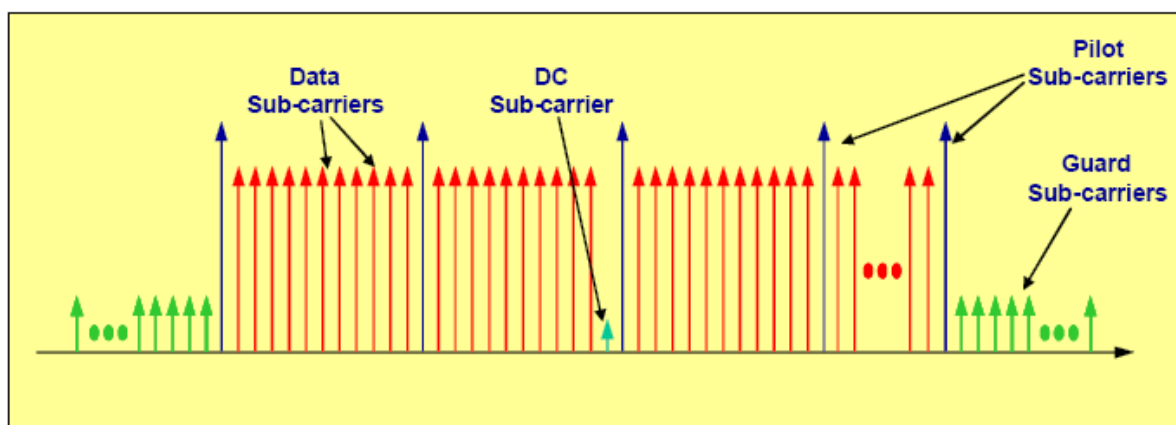
**Slika 2-3:** Časovni prikaz OFDM modulacije

V modernih sistemih se praktično se vsa OFDM modulacija ter demodulacija izvaja v digitalni tehniki. Spodnja slika prikazuje preprost shemo delovanja OFDM modulatorja/demodulatorja. Ker je komunikacija med oddajnikom ter sprejemnikom half-duplex, je možno uporabiti isto ali vsaj večino strojne opreme za sprejem, kot tudi oddajo.



Slika 2-4: Blok shema OFDM modulatorja/demodulatorja

## 2.2 Struktura OFDMA simbolov in porazdelitev podkanalov



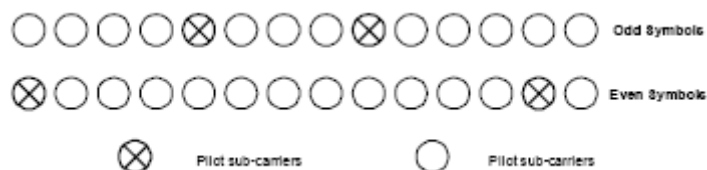
*Slika 2-5: Struktura OFDMA simbola*

Zgornja slika prikazuje strukturo enega OFDMA simbola z naslednjimi podnosilci:

- Data Sub-carriers: podnosilci za prenos podatkov oz. informacije
- Pilot Sub-carriers: podnosilci za sinhronizacijo
- Null Sub-carriers: podnosilci, ki niso uporabljeni za komunikacijo

Aktivni podnosilci (data in pilot) so združeni v grupe imenovani »clusters« ali logične enote. WiMAX PHY omogoča večje število različnih permutacij med simboli pri kreiranju logičnih entot.

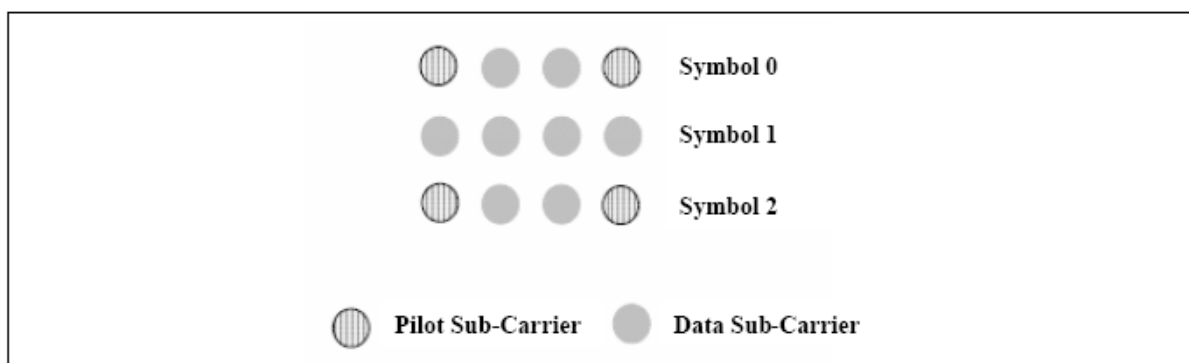
### 2.2.1 DL logična (*cluster*) struktura



**Slika 2-6:** Slika DL logične struktura

Najmanjšo logično podatkovno enoto v DL načinu delovanja predstavlja zgornja slika. Struktura je razporejena preko 2 OFDMA simbolov ter preko 14 medfrekvenčnih kanalov.

### 2.2.2 UL logična (*cluster*) struktura ali »Tile«



**Slika 2-7:** Slika UL logične strukture »Tile«

Zgornja slika predstavlja najmanjši logični podatek v UL načinu. Časovno je razširjen preko treh OFDMA simbolov in frekvenčno preko štirih medfrekvenčnih podnosilcih.

## 2.3 SOFDMA

IEEE 802.16e Wireless MAN OFDMA bazira na OFDMA modulaciji z možnostjo prirejanja oz. spreminjanja nastavitev. Pri spremembi pasovne širine se sama frekvenčna širina podnosilca ne spremeni, ampak se spremeni dolžina FFT/IFFTja. Prav tako je dolžina simbola vedno konstantna ter njegov »guard« čas.

Spodnja tabela prikazuje različne nastavitve SOFDMA modulacije. Okenca v rumeni barvi predstavljajo modulacijo zahtevano v standardu Mobile WiMAX System Profile Release-1.

Parameters	Values			
System Channel Bandwidth (MHz)	1.25	5	10	20
Sampling Frequency ( $F_p$ in MHz)	1.4	5.6	11.2	22.4
FFT Size ( $N_{FFT}$ )	128	512	1024	2048
Number of Sub-Channels	2	8	16	32
Sub-Carrier Frequency Spacing	10.94 kHz			
Useful Symbol Time ( $T_b = 1/f$ )	91.4 microseconds			
Guard Time ( $T_g = T_b/8$ )	11.4 microseconds			
OFDMA Symbol Duration ( $T_s = T_b + T_g$ )	102.9 microseconds			
Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame)	48			

**Tabela 2-1:** Parametri SOFDMA modulacije

Do rezultatov je možno priti po naslednjih enačbah:

- Frekvenca vzorčenja (*Sampling Frequency*):  $F_s = \text{floor}\left(n \cdot \frac{BW}{8000}\right) \cdot 8000$
- Širina podnosilcev (*Subcarrier Spacing*):  $\Delta f = \frac{F_s}{N_{FFT}}$
- Uporaben čas simbola (*Useful Symbol time*):  $T_b = \frac{1}{\Delta f}$
- Čas varovanja (*CP or Guard Time*):  $T_g = G \cdot T_b$
- Čas OFDMA simbola (*OFDMA Symbol Time*):  $T_s = T_b + T_g$
- Čas vzorčenja (*Sampling Time*):  $\frac{T_n}{N_{FFT}}$

Konstanti  $n$  in  $G$  sta pri mobilnem WiMAX (pravzaprav pri Mobile WiMAX System Profile Release - 1):  $n = \frac{28}{25}$ ;  $G = \frac{1}{8}$ . Standard 802.16 dovoljuje tudi druge vrednosti  $n$  in  $G$  parametra.

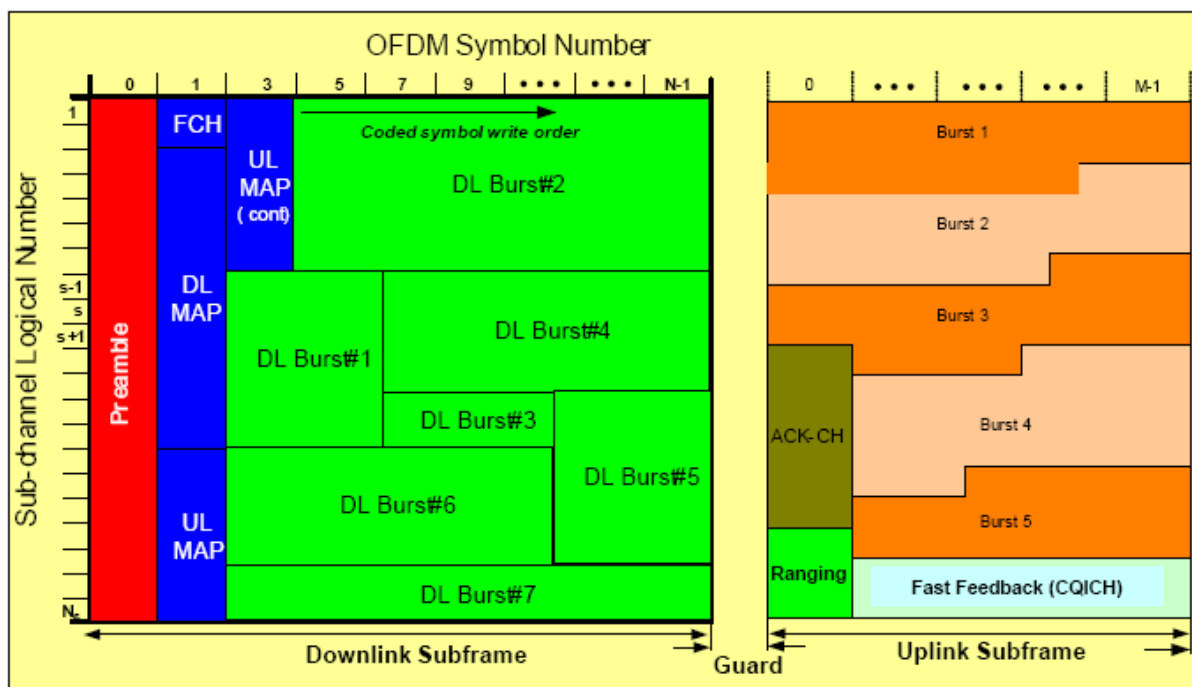


## 2.4 Struktura paketov

Standard 802.16e podpira TDD (Time Division Duplex), FDD (Frequency Division Duplex) in half-duplex FDD dostop. Kakorkoli trenutno standard zahteva samo TDD dostop ostala sta le kot opcija.

Prednosti TDD dostopa:

- TDD omogoča nastavljanje asimetričnega uplink/downlink. Pri FDD dostopu je le ta simetričen oziroma težje izvedljiv.
- TDD omogoča lažjo implementacijo MIMO sistemov.
- TDD potrebuje samo eno frekvenčno območje za delovanje, medtem ko FDD dva.
- Implementacija TDDja je manj kompleksna.



Slika 2-8: WiMAX OFDMA TDD časovna struktura

## 2.5 Tipi modulacij

Mobile WiMAX omogoča AMC (*adaptive modulation and coding*), HARQ (*hybrid automatic repeat request*) in CQICH (*Fast Channel Feedback*).

Poleg tega pa vsebuje tudi naslednja moduliranja:

		DL	UL
Modulation		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Code Rate	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
	Repetition	x2, x4, x6	x2, x4, x6

**Tabela 2-2: Podprte modulacije**

Modulacije QPSK, 16QAM in 64QAM so zahtevane v DL načinu, v UL načinu je modulacija 64QAM opcijška. Poleg tega standard zahteva kodiranje CC (*Convolutional Code*) in CTC (*Convolutional Turbo Code*). BTC (*Blok Turbo Code*) in LDPC (*Low Density Check Code*) kodiranje sta tudi opcijška.

Spodnja tabela prikazuje hitrosti za 5 in 10MHz pasovno širino. Z frame dolžino 5ms. Rumeni kvadrati predstavljajo opsijsko varianto QAM64 modulacijo v UL.

Parameter		Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
System Bandwidth		5 MHz		10 MHz	
FFT Size		512		1024	
Null Sub-Carriers		92	104	184	184
Pilot Sub-Carriers		60	136	120	280
Data Sub-Carriers		360	272	720	560
Sub-Channels		15	17	30	35
Symbol Period, $T_S$		102.9 microseconds			
Frame Duration		5 milliseconds			
OFDM Symbols/Frame		48			
Data OFDM Symbols		44			
Mod.	Code Rate	5 MHz Channel		10 MHz Channel	
		Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps	Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps
QPSK	1/2 CTC, 6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	1/2 CTC, 4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	1/2 CTC, 2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	1/2 CTC, 1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	3/4 CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16QAM	1/2 CTC	6.34	4.57	12.07	9.41
	3/4 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64QAM	1/2 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3 CTC	12.67	9.14	26.34	18.82
	3/4 CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6 CTC	15.84	11.42	31.68	23.52

**Tabela 2-3:** Hitrosti prenos podatkov z uporabo PUSC

PUSC (*Partially Used Subchannelization*)

Ostali načini prenosa logičnih informacij:

FUSC (*Fully Used Subchannelization*)

AMC (*Advanced Modulation and Coding*)

### 3. Povezovanje BS in MS (Ranging)

V OFDM sistemih je ključna popolna sinhronizacija med BS in MS, le na ta način se je možno izogniti ISI in ICI napaki, kateri vodita k degradaciji kvalitete sprejemnega signala. Predstavljajmo si celico velikosti 20km. Maximalni odzivni čas (round trip delay) je okoli 133us. To pomeni, da lahko sprejeti signal zakasni nekje do 133us namesto takrat, ko ga pričakuje BS. Če istočasno še upoštevamo dolžino simbola, ki je cca 100us, je napaka zelo velika. Za pravilno delovanja sistema je nujno potrebno uskladiti vse MS z BS. Vsi oddani podatki, poslani iz MS morajo priti do bazne postaje natanko takrat, ko jih le ta predvideva. Enak problem velja tudi za MS, podatki od BS morajo priti natanko takrat, ko jih MS predvideva. Zanimivo MS, ki je zelo oddaljen od BS najkasneje sprejme poslane podatke od BS, istočasno, pa tudi prvi odda podatke BS.

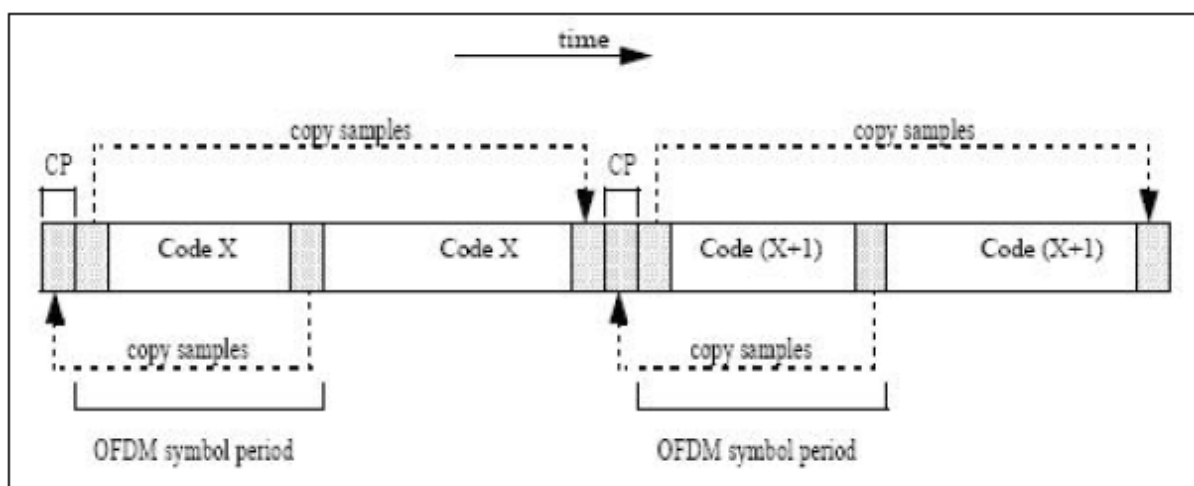
Ko se novi MS želi prijaviti v sistem, nima nobenih podatkov o oddaljenosti BS, trenutni časovni sinhronizaciji, kot tudi s kakšno potrebno močjo naj oddaja. To je naloga BS, da zazna nov MS, odkrije nepravilnosti v signalu, ter pošlje korekcije le temu MS.

Pred prijavljanjem novega MS v sistema, le ta posluša oddajne signale na BS, ter se poskuša nanje sinhronizirati. Ker je sinhronizacija izredno pomembna, ter nov MS še vedno nima točne sinhronizacije, MS začne oddajati z najnižjo oddajno močjo, ter jo postopoma dviguje, dokler ne dobi odgovor od BS. V prvem odgovoru BS pošlje korekcijske podatke s katerimi se lahko MS sinhronizira.

Takšen postopek lahko traja dlje časa, zato 802.16 standard vsebuje tudi CDMA kodiranje za prijavljanje MS v sistem. Nov MS pošlje predefinirano CDMA kodo, katero zazna BS. Preko tega prejetega signala BS lahko izračuna časovno razliko, frekvenčno razliko in napako v moči (opis sledi v nadaljevanju).

### 3.1 Računanje napake v času (Timing offset calculation)

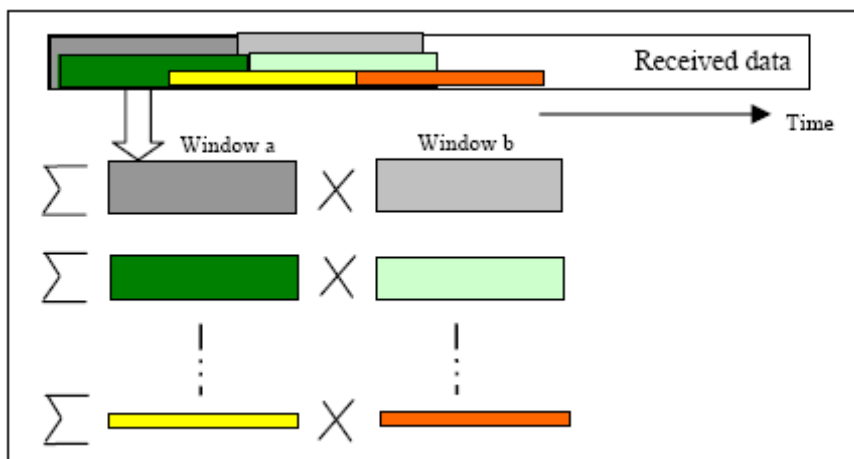
Za določitev časa oddajanja se uporablja sistem avtokorelacije opisan v nadaljevanju. Poleg tega je ta sistem uporabljen v periodičnih kalibracijah ali kadar MS želi oddajati. V ta namen se uporablja 256 specialnih psevdo (pseudo-noise) 144 bitnih kod. Na ta način BS določi tip zahteve ter od katerega MS prihaja. Na voljo je 6 podkanalov za te kode. Kode so modulirane z BPSK modulacijo. Tudi kadar pride do navkrižja (collision) večjega števila MS, lahko BS dekodira signal vseh MS.



**Slika 3-1:** Začetni »ranging« z dvema OFDMA simboloma

Sam process je mogoč z uporabo ponavljajoče strukture, na kateri se pošiljajo podatki. Kot je opazno drugi simbol ne vsebuje »cyclic prefix« ampak postfix.

Spodnja slika prikazuje princip delovanja. Window predstavlja en OFDM simbol. Window a se množi z enako dolgim window b ter nato seštejeta. Ta postopek se nato za en vzorec zamakne ter nato ponovi.



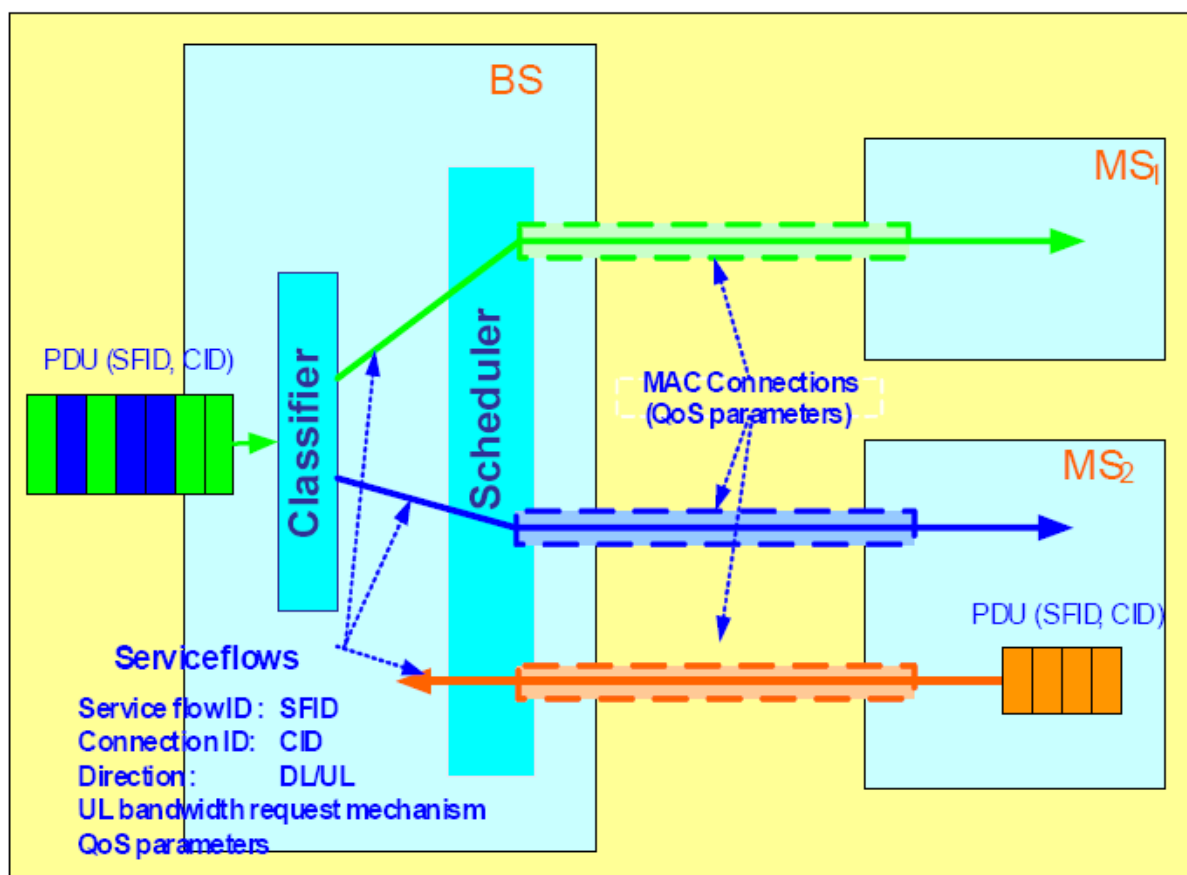
Slika 3-2: windows

## 4. MAC (Medium Access Control)

Glavni namen razvoja 802.16 standarda je razvoj brezžičnega širokopasovnega medija za uporabo storitev kot so VoIP, digitalna televizija, širokopasovni prenos podatkov, itd. WiMAX MAC je kompatibilen z DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), ter omogoča prenos digitalne televizije ali VoIP sočasno. Viri (*resources*) za posameznega uporabnika se lahko dinamično prilagajajo od enega SOFDMA simbola pa vse do celotnega frame-a. Ker se ti podatki nahajajo na začetku frame-a, se lahko dinamično spreminjajo za vsak frame.

### 4.1 Kvaliteta storitev (QoS (Quality of Service))

Spodnja slika prikazuje preprosto shemo WiMAX MAX QoS storitev.



Slika 4-1: Blok shema kvalitete storitev

Pred kakršnim prenosom podatkov med BS(*Base Station*) in MS(*Mobile Subscriber*) se prenese informacija o QoS oz. kvaliteta o storitvi. Ta prenos informacije se imenuje povezava »*connection*«. QoS parametri določajo prioriteto prenosa posameznih paketov med BS ter ostalimi MS. Ker brezžična povezava predstavlja ozko grlo, je QoS sistem izredno učinkovit. QoS parametri se lahko dinamično nastavljajo na samem MAC nivoju in se uporabljajo v DL kot tudi v UL prenosu podatkov. WiMAX omogoča večje število različnih QoS nivojev, le ti so naštetih v spodnji tabeli.

QoS category	Application	QoS specification
<b>UGS</b> Unsolicited Grant Service	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum Sustained Rate</li> <li>• Maximum Latency</li> <li>• Tolerance</li> <li>• Jitter Tolerance</li> </ul>
<b>rtPS</b> Real-Time Packet Service	Streaming Audio or Video	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimum Reserved Rate</li> <li>• Maximum Sustained Rate</li> <li>• Maximum Latency</li> <li>• Tolerance</li> <li>• Traffic Priority</li> </ul>
<b>ErtPS</b> Extended Real-Time Packet Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimum Reserved Rate</li> <li>• Maximum Sustained Rate</li> <li>• Maximum Latency</li> <li>• Tolerance</li> <li>• Jitter Tolerance</li> <li>• Traffic Priority</li> </ul>
<b>nrtPS</b> Non-Real-Time Packet Service	File Transfer Protocol (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimum Reserved Rate</li> <li>• Maximum Sustained Rate</li> <li>• Traffic Priority</li> </ul>
<b>BE</b> Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum Sustained Rate</li> <li>• Traffic Priority</li> </ul>

**Tabela 4-1:** Tabela storitev kvalitete



## 4.2 Storitve MAC opravilnika (MAC Scheduling Service)

Vodilo izgradnje oziroma cilj MAC opravilnika je čim hitrejši prenos storitev, kot so zvok, slika ter podatki preko spreminjajočega zračnega prostora. Da je lahko kos zastavljenim ciljem vsebuje naslednje funkcionalnosti:

- **Hitre zahteve opravilnika (*Fast Data Scheduler*):** Opravilnik mora biti sposoben hitro locirati razporožljive vire ter jih napolniti z pravilnimi podatki glede na parametre QoS. Opravilnik se nahaja na vsaki bazni postaji, kar močno izboljša samo dinamičnost sistema. Za pravilno odločanje izbire tipa modulacije in kodirnika se uporablja CQICH kanal.
- **Opravilnik deluje v DL in UL (*Scheduling for DL and UL*):** Storitve QoS oziroma opravilnik deluje v UL in DL. Opravilnik stalno spremlja stanje v UL načinu ter odzivne čase posameznih MS, le na ta način lahko opravilnik pravilno sledi parametrom QoS.
- **Dinamično lociranje virov (*Dynamic Resource Allocation*):** MAC omogoča določanje virov za vsak UL in DL ter to v vsakem frame-u. Le ta informacija se nahaja na začetku (prvih neka SOFDMA simbolov) vsakega frame-a.

## 4.3 Mobilnost (*Mobility*)

Čas trajanja baterije ter konec povezave »handoff« sta ključni za mobilne naprave. Mobilni WiMAX vsebuje naslednja dva načina: Način spanja (*sleep mode*) ter način pripravljenosti (*idle mode*). Poleg tega omogoča menjavo BS brez izgube povezave.

- **Načini delovanja (*Power Managment*):** V načinu spanja (*sleep mode*) je MS določen čas odsoten iz omrežja. V tem času ima MS za (BS) bazno postajo status nedosegljivosti. Način spanja ima dvojno funkcijo: Zmanjšanje porabe na MSju in zmanjšanje prometa na sami BS. Poleg tega MSju ta način omogoča iskanje drugih baznih postaj ter možen preklon na drugo bazno postajo.
- **Način pripravljenosti (*Idle mode*):** Ta način omogoča MSju dostop do globalnih (broadcast) sporočil posamezne BS brez registracije. Ta funkcija je uporabna, ko se MS premika po prostoru med posameznimi BS. Ta način odpravlja zahteve po registraciji, ter zahteve »handoff«, ki

so ključni za normalen način delovanja kar seveda zmanjšuje sam promet na posamezni bazni postaji, kljub temu pa je sledenje MS še vedno zagotovljeno.

#### 4.4 Konec povezave (*Handoff*)

Standard omogoča tri različne metode:

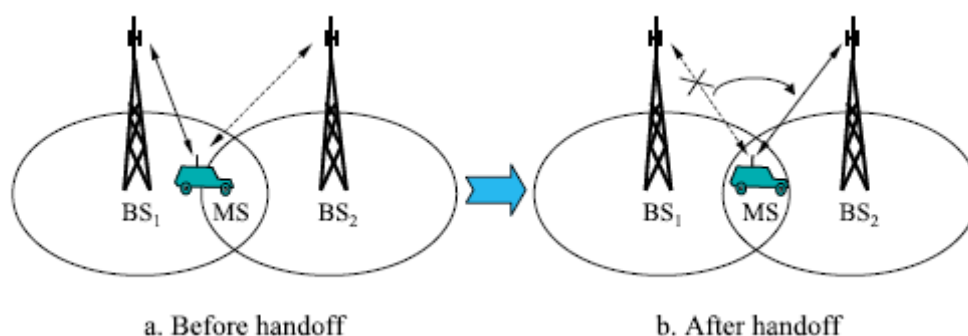
HHO (*Hard Handoff*)

FBSS (*Fast Base Station Switching*)

MDHO (*Macro Diversity Handover*)

Od zgornjih načinov je HHO obezen, ostala sta opcijška. Zahteve: MAC zakasnitve zaradi handoff na drugem nivoju morajo biti manjše od 50ms.

- **HHO Handoff or Handover:** To je proces, ko se spreminja (kanalska frekvenca, pasovna širina, bazna postaja ali BS, itd) in sicer v času, ko poteka klic ali kakršna koli druga povezava. V tem primeru se trenutni viri (resourci) sprostijo, takoj, ko se locirajo novi viri (v primeru menjave BS, ki se locirajo viri na drugi BS). To prikazuje tudi spodnja slika.



**Slika 4-2:** Prikaz menjave BS

- V primeru **FBSS** načina tako BS kot MS vodita seznam ostalih BS ki omogočajo FBSS ter so v dometu posameznega MS. To se imenuje tudi aktivni set. V tem aktivnem setu MS stalno preverja posamezne BS. Poleg tega pa v tem setu izbere tudi glavno (*anchor*) BS, s katero poteka trenutna komunikacija. MS komunicira samo s glavno BS. MS stalno išče posamezne BS ter kvaliteto signala BS na aktivni listi preko CQI kanala. V primeru potrebe MS poda zahtevo za zamenjavo glavne postaje ter izbere primernejšo. Pomembna informacija v tem načinu je, da posamezne podatke dobijo vse BS na aktivni listi MS.

- **MDHO** deluje na nekoliko drugačen način. Podobno kot v FBSS načinu, MS vodi aktivni set, ter tudi v tem primeru je izbrana aktivna BS. Razlika je v tem, da MS komunicira z vsemi BS na aktivnem setu tako v DL kot v UL.

## 4.5 Varnost (*Security*)

Mobilni WiMAX vsebuje najnaprednejše rešitve glede varnosti.

- **KMP (*Key Management Protocol*)**: Kot osnova mobile WiMAX je uporabljen protokol PKMv2 ki vsebuje tudi PKM-REQ/RSP sporočila, PKM EAP avtorizacijo, itd.
- **DUA (*Device/User Authentication*)**: Standard omogoča avtorizacijo naprav kot uporabnika z uporabo IETF EAP protokola, ki omogoča podprotokole: SIM, USIM, Digitalni Certifikati, EAP-SIM, EAP-AKA, EAP-TLS, AEP-MSCHAPv2.
- **TE (*Traffic Encryption*)**: AES-CCM ključ je uporabljen za zaščito vseh podatkov, ki se prenašajo preko mobilnega WiMAXa. Ključe generira EAP avtorizacija. Za dodatno zaščito se uporablja še TEK(*Traffic Encryption State Machine*), katera periodično spreminja posamezne ključe.
- **CMP (*Control Message Protection*)**: Kontrolni podatki so zaščiteni po kodirnih shema AES, ki temeljijo na CMAC ali HMAC kodiranjih.

## 5. Napredne tehnologije (*Advanced Features of Mobile WiMAX*)

### 5.1 Tehnologija pametnih anten (*Smart Antenna Technologies*)

Pametne antene tipično zahtevajo kompleksne vektorje kot tudi matrične operacije. Standard 802.16e vsebuje večje število tehnologij za povišanje performace.

Naslednje tehnologije vsebuje WiMAX:

- **Beamforming:** Standard definira delovanje anten s sprejemljivim kotom oddajanja oziroma sprejemanje signala.
- **STC (*Space-Time Code*):** Uporabljajo se Alamouti kode.
- **SM (*Spatial Multiplexing*):** S to metodo se lahko oddaja večje število signalov preko večjega števila anten. Močno izboljšanje sprejemnega signala doprinese tudi večje število anten pri sprejemniku. Temu pravimo tudi MIMO (*Multiple In Multiple Out*) sistem.

Spodnja tabela prikazuje povzetek antenskih funkcij WiMAX standarda.

Link	Beam forming	Space Time Coding	Spatial Multiplexing
DL	$N_t \geq 2, N_r \geq 1^3$	$N_t=2, N_r \geq 1$ Matrix A	$N_t=2, N_r \geq 2$ Matrix B, vertical encoding
UL	$N_t \geq 1, N_r \geq 2$	N/A	$N_t=1, N_r \geq 2$ Two-user collaborative SM

**Tabela 5-1: MIMO AAS**

$N_t$  predstavlja število oddajnih anten, ter  $N_r$  pa število sprejemnih anten.

Z uporabo MIMO sistemov se lahko performance WiMAX sistema močno povečajo, kar prikazuje tudi spodnja tabela. Rezultati so prikazani na 10MHz pasovni širini, ter dolžino frame-a 5ms in PUSC modulacijo.

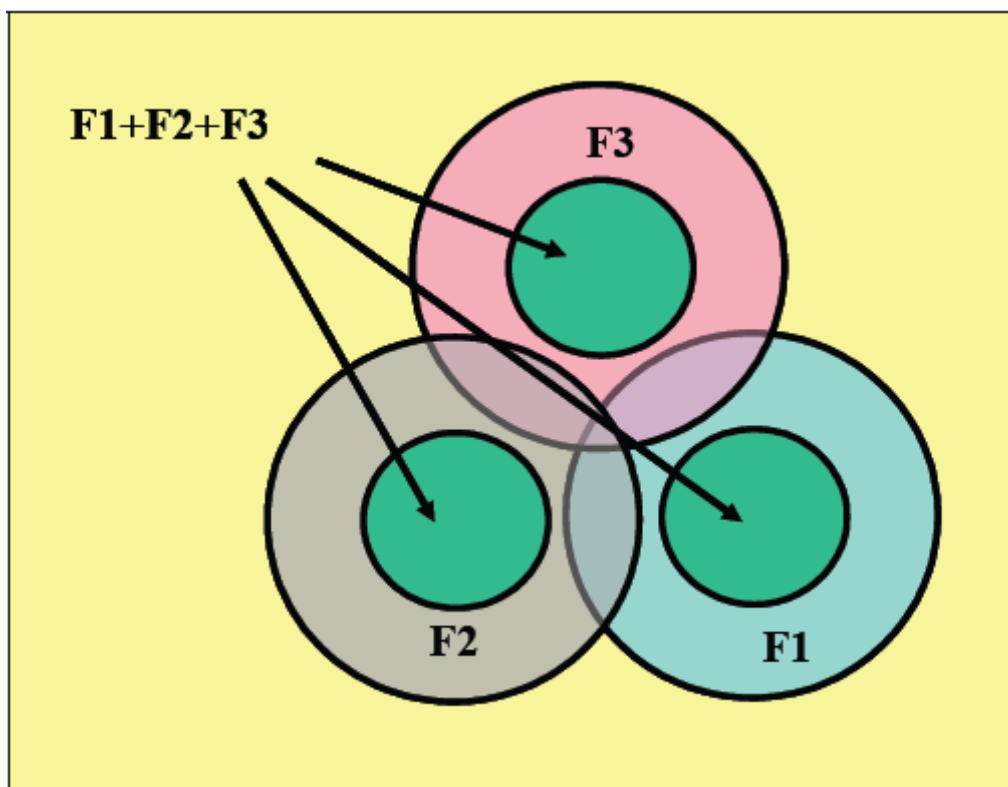
DL/UL Ratio			1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1
User Peak Rate (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31.68	23.04	20.16	18.72	15.84	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
	MIMO (2x2)	DL	63.36	46.08	40.32	37.44	31.68	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
Sector Peak Rate (Mbps)	SIMO (1x2)	DL	31.68	23.04	20.16	18.72	15.84	0
		UL	0	4.03	5.04	6.05	7.06	14.11
	MIMO (2x2)	DL	63.36	46.08	40.32	37.44	31.68	0
		UL	0	8.06	10.08	12.10	14.12	28.22

*Tabela 5-2: Primerjava performanc SIMO ter MIMO sistema*

## 5.2 FFR (*Fractional Frequency Reuse*)

Standard omogoča uporabo enakih frekvenc med celicami oziroma sektorji. Na ta način se močno zmanjša potreba po spektralni širini, žal se pa poveča CCI (*Co-Channel Interference*). Največjo degradacijo signala se lahko pričakuje pri uporabnikih, ravno na meji med celicami. Zaradi uporabe OFDMAja (uporabniki lahko uporabljajo le del celotne pasovne širine), se ta problem lahko nekoliko zmanjša.

WiMAX omogoča pametno določane izrabe frekvenčnih podkanalov. MS ji, ki so blizu bazne postaje lahko uporabljajo celoten spekter frekvenčnih podpasov, MS na robu pa le del frekvenčnega pasu. Na ta način je izrabljen celoten frekvenčni pas, kot tudi faktor CCI se močno zmanjša. Izraba funkcije FFR se lahko določa dinamično, kar omogoča vzpostavitev sistema brez ti. frekvenčnega planiranja.



Slika 5-1: Ponovna uporaba frekvenčnih podpasov

### 5.3 MBS (*Multicast and Broadcast Service*)

Ta tehnologija omogoča WiMAX združevanje najboljših lastnosti DVB-H, MediaFLO in 3GPP E-UTRA standardov.

- Hitre podatkovne prenose na SFN (*Single Frequency Network*)
- Hitro, dinamično in fleksibilno določane virov (resources)
- Nizko porabo moči na MS

Največja prednost te tehnologije je sprejemanje globalnih (*broadcast*) sporočil na MS strani, kljub temu, da le ta ni prijavljen na BS. Način delovanja v pripravljenosti (*Idle mode*).

## 5.4 WiMAX zanesljivost (*WiMAX MAP Reliability and overhead*)

Mobilni WiMAX na začetku vsakega frame-a vsebuje kontrolnom strukturo imenovano MAP. Ta struktura se nahaja tako v DL kot tudi v UL. Ta struktura omogoča fleksibilno določane virov (*resources*) kot tudi sam QoS.

Ker je ta struktura ključna, pri nadaljnem dekodiranju frame-a, se vedno modulira s QPSK modulacijo. Ker WiMAX omogoča uporabo velikega števila dodatnih tehnologij, je dolžina MAP strukture dinamična. Na ta način se zmanjša sam »overhead« na prenosnem mediju. Pri 10MHz pasovni širini, 5ms frame je »overhead« dolg cca 10%.

## 6. Performančne zmogljivosti mobilnega WiMAXa

Simulacije so bile izvedene na 1xEVDV metodologiji. Predvideva se kanal s 6 različnimi odboji. Slednje prikazuje spodnja tabela:

Channel Model	Path 1 (dB)	Path 2 (dB)	Path 3 (dB)	Path 4 (dB)	Path 5 (dB)	Path 6 (dB)	Rake Fingers
ITU Ped. B Ch-103	-3.92	-4.82	-8.82	-11.92	-11.72	-27.82	1,2,3,4,5,6
ITU Veh. A Ch-104	-3.14	-4.14	-12.14	-13.14	-18.14	-23.14	1,2,3,4,5,6

*Tabela 6-1: Performančna testa*

Prav tako sami uporabniki niso bili mirujoči temveč so se gibali po naslednji tabeli:

Channel Model	Number of Paths	Speed	Fading	Assignment Probability
ITU Ped. B Ch-103	6	3 km/hr	Jakes	0.60
ITU Veh. A Ch-104	6	30 km/hr	Jakes	0.30
	6	120 km/hr	Jakes	0.10

*Tabela 6-2: Hitrosti MS ta performančne teste*

Predvideva se uporabo 10 uporabnikov na posamezni sektor. Vsi uporabniki generirajo FTP promet. Nosilna frekvenca pri simulaciji je 2.5 GHz. »Frame overhead« je 11 simbolov (7 v DL, 3 v UL in 1 za TTG). Ostalih 37 OFDMA simbolov je uporabljenih za prenos podatkov.



Cases		DL: 28 data symbols UL: 9 data symbols		DL: 22 data symbols UL: 15 data symbols	
Antenna	Link	Sector Throughput	Spectral Efficiency	Sector Throughput	Spectral Efficiency
SIMO	DL	8.8 Mbps	1.21 bps/Hz	6.6 Mbps	1.09 bps/Hz
	UL	1.38 Mbps	0.55 bps/Hz	2.20 Mbps	0.59 bps/Hz
MIMO	DL	13.60 Mbps	1.87 bps/Hz	10.63 Mbps	1.76 bps/Hz
	UL	1.83 Mbps	0.73 bps/Hz	2.74 Mbps	0.83 bps/Hz

**Tabela 6-3:** Rezultati performančnih testov

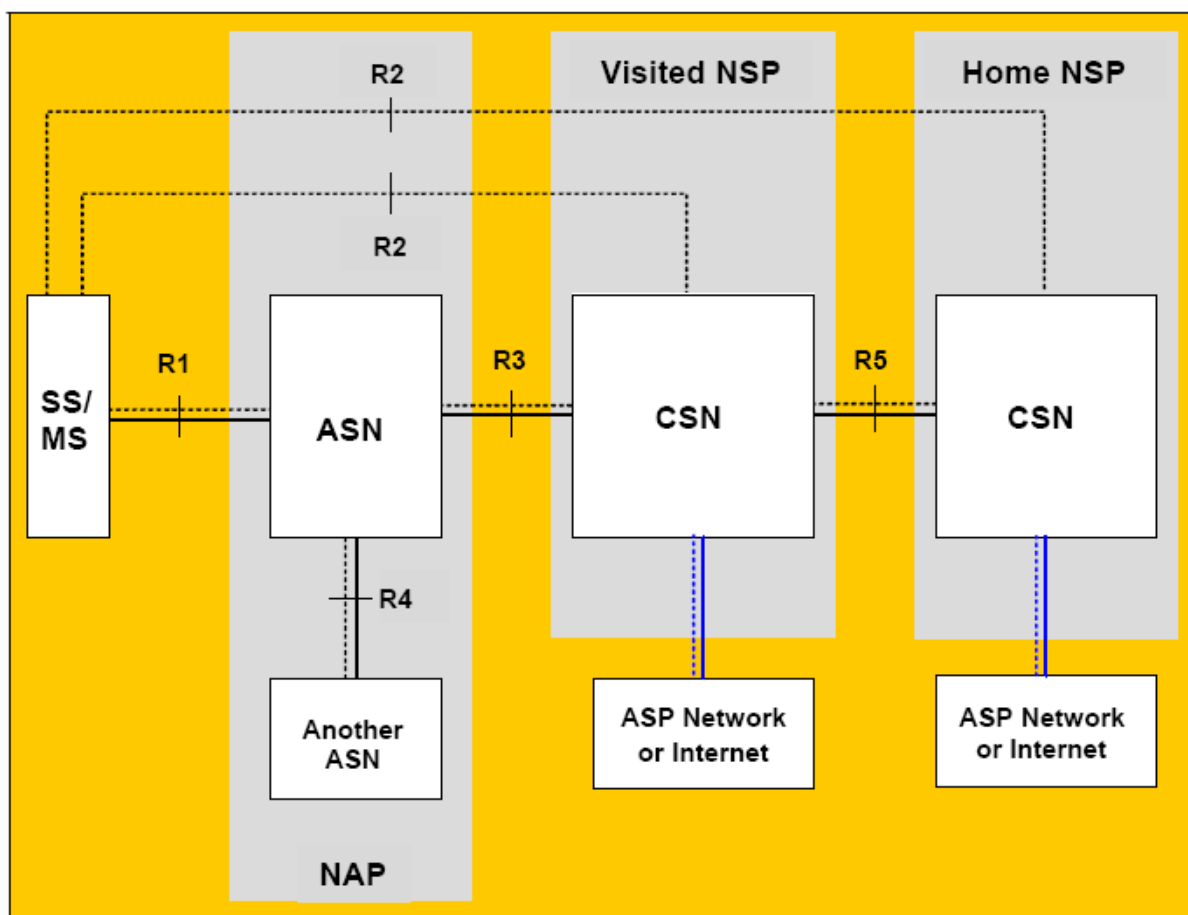
Dolžina enega frame-a je trajala 10ms.

Dodatne izboljšave je možno izvesti z uporabo tehnologij kot so AAS.

## 7. WiMAX Arhitektura (*End-to-End WiMAX Architecture*)

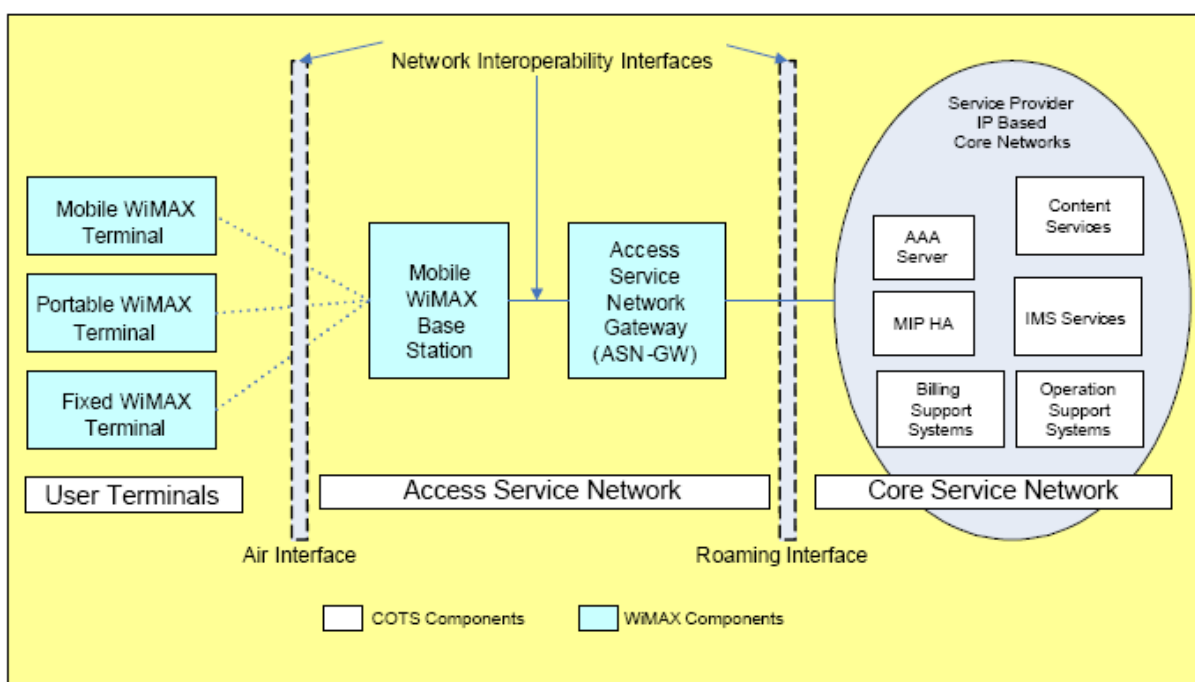
IEEE definira le PHY in MAC nivo v 802.16 standardu. Takšen pristop se je uspešni izkazal pri razvoju Ethernet in WiFi standardov. Pri razvoju sistemov kot je 3GPP takšna rešitev ne pride v poštev, saj je potrebno podpirati večje število različnih standardov, omogočati brežične povezave, kot tudi povezljivost med posameznimi ponudniki storitev. Zato so nastale pod okriljem WiMAX foruma dodatne podskupine: *Network Working Group*, katera je zadolžena za kreiranje višjenivojske arhitekture in *Service Provider Group*, ki je zadolžena za izdelavo dokumentacije z zahtevami za ponudnike WiMAX storitev.

Celotna WiMAX arhitektura temelji na IP platformi. Ne zahteva istočasne IP in circuit povezave, kar seveda predstavlja nižje vzdrževalne stroške.



*Slika 7-1: Mrežna arhitektura WiMAX tehnologije*

Zgornja slika prikazuje referenčni model mrežne arhitekture WiMAX. Na sliki je zgradba razdeljena na nekaj logičnih enot. SS/MS (*subscriber, mobile subscriber*), ASN (*Access Service Network*) in CSN (*Connectivity Service Network*). Vsaka od teh enot je lahko predstavljena kot ena sama enota ali pa je razdeljena na večje število pod enot. Končni ponudnik storitev ima lahko svojo zgradbo, dokler je še vedno dosežena sama funkcionalnost sistema ter interoperability. ASN predstavlja interoperabilnost med posameznimi WiMAX klienti ter povezljivost med posameznimi ponudniki. CNS predstavlja povezljivost med WiMAX SS ter IP storitvami. CSN predstavlja skupek routerjev, AAS proxy-jev, baz podatkov, itd.



**Slika 7-2:** Natančnejša mrežna arhitektura WiMAX tehnologije

Spodaj so naštetne nekatere značilnosti WiMAX omrežja:

- Logično delitev med posameznimi bloki, kar predstavlja enostavno dograjevanje ali vrivanje novih sistemov
- Delitev (sharing) posameznih ASN med NAP (Network Access Provider) med večjim številom NSP (Network Service Provider)
- Podpora enega samega NSP med večjim številom ASN in enim ali večjim številom NSP
- Omogoča izbiro NSP na stani MS ali SS.
- Omogoča NAP, večje število ASN arhitektur
- Omogoča dostop do poljubnega števila storitev operaterja

g.)Natančno določen in opisan standard o vseh vmesnih stopnja (ASN, med ASN in CSN, itd)

h.) Omogoča različnim ponudnikom različne implementacije sistema, dokler ustrezajo zahtevam.

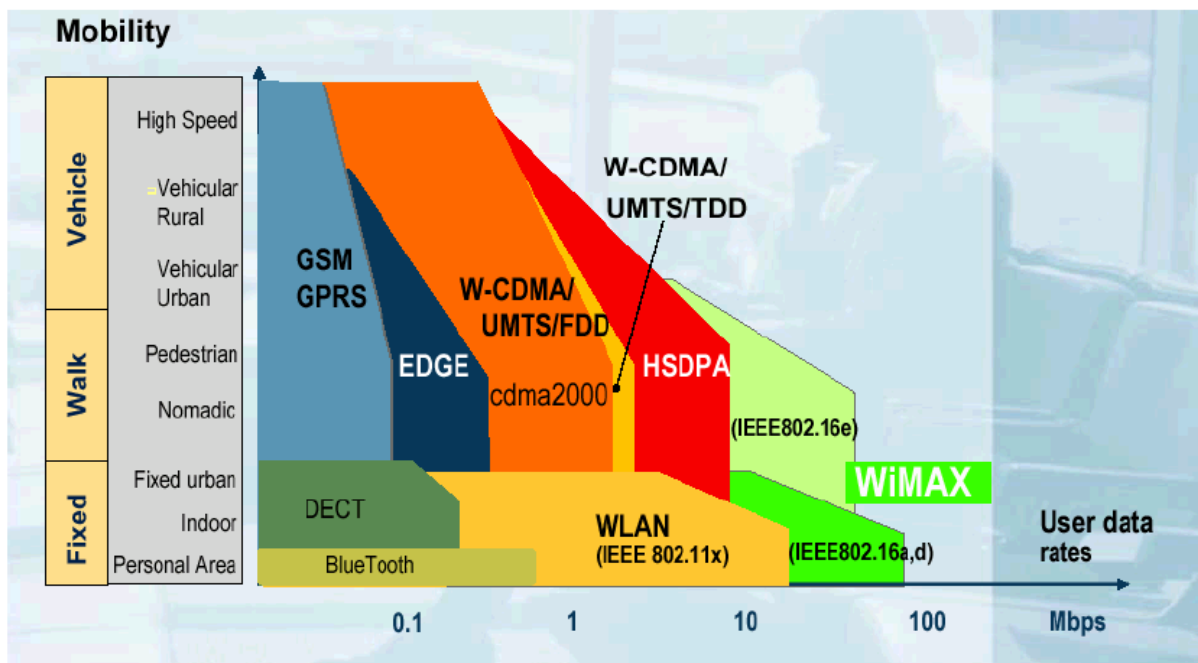
## 8. Aplikacije mobilnega WiMAX (Mobile WiMAX Applications)

Aplikacije, kjer je mobilni WiMAX uporaben se deli na pet glavnih skupin:

		BANDWIDTH		LATENCY		JITTER	
Class	Application	Guideline		Guideline		Guideline	
1	Interactive Gaming	Low Bandwidth	50 kbps	Low Latency	< 25 msec	N/A	
2	Voice Telephone (VoIP) Video Conference	Low Bandwidth	32064 kbps	Low Latency	160 msec	Low Jittering	<50 msec
3	Streaming Media	Low to High Bandwidth	5 Kbps - 2 Mbps	N/A		Low Jittering	<100 msec
4	Instant Messaging Web Browsing	Moderate Bandwidth	10 kbps - 2 Mbps	N/A		N/A	
5	Media Content Download	High Bandwidth	> 1~2 Mbps	N/A		N/A	

Slika 8-1: Aplikacije mobilnega WiMAX

### 8.1 Mobilnost mobilnega WiMAX v primerjavi z ostalimi različnimi standardi



Slika 8-2: Primerjava Wimax – ostali standardi

## 9. Časovni razvoj (Roadmap)

Julija 2005 je bil v Španiji v Malagi odprt prvi laboratorij za certificiranje WiMAX opreme imenovan Cetecom Labs. Drugi laboratorij je v fazi odpiranja v Koreji. Oba laboratorija bosta v ¾ leta 2006 omogočala certificiranje opreme pod standardom Mobile WiMAX Release-1 profile.

Spodnja slika predstavlja predvidevan razvoj WiMAX

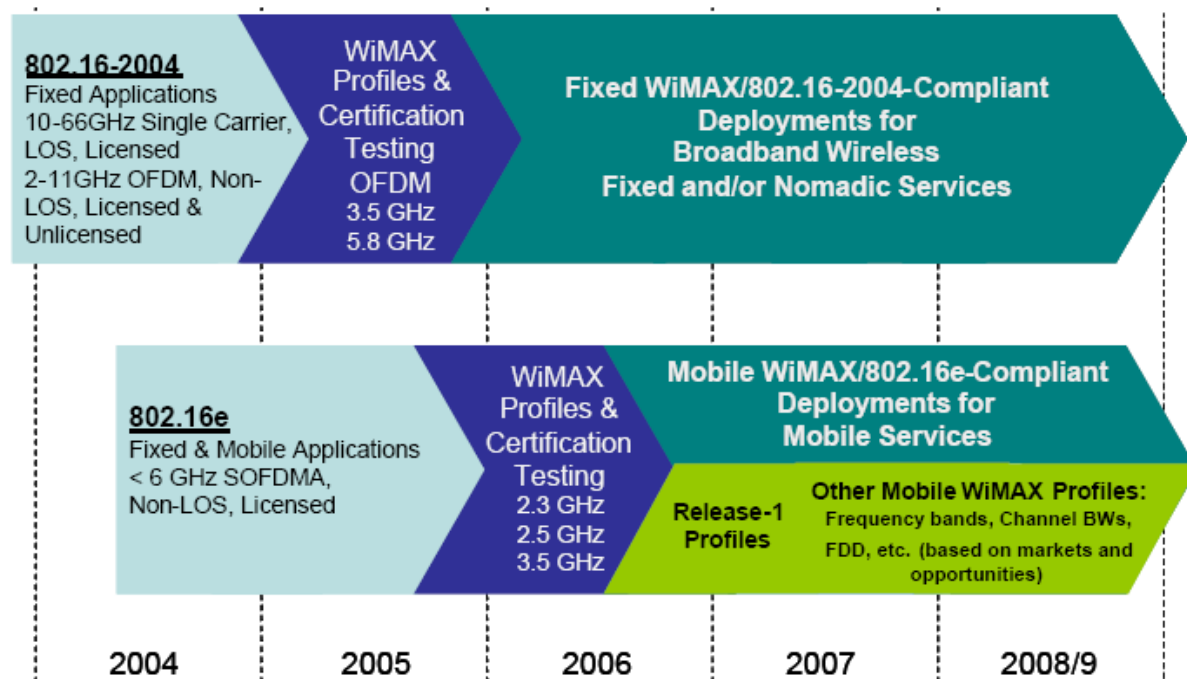


Figure 19: Roadmap for WiMAX Technology

Slika 9-1: Časovni plan razvoja WiMAX tehnologije