

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Opinnäytetyö

Timo Koppanen
WIMAX

Työn ohjaaja Kai Poutanen
Tampere 22.4.2010

Tekijä	Timo Koppanen
Työn nimi	WiMAX
Sivumäärä	27
Valmistumisaika	04/2010
Työn ohjaaja	Kai Poutanen

TIIVISTELMÄ

WiMAX on langaton tiedonsiirtojärjestelmä paikkoihin, joihin kaapelien veto jostain syystä ei ole mahdollista tai järkevää. Tekniikka on myös kilpaileva vaihtoehto kaapelimodeemeille ja DSL-yhteyksille.

WiMAX pohjautuu standardeihin, joiden yleinen tunnus on IEEE 802.16. Kehitystyö on jatkunut vuodesta 2001, jolloin julkaistiin ensimmäinen standardi.

WiMAX pohjautuu adaptiiviseen modulaatioon, jossa modulaatio valitaan yhteysvälin mukaan, joka lasketaan matkana tilaajalta tukiasemalle ottaen huomioon yhteysvälin esteellisyys ja esteettömyys.

WiMAXilla on neljä QoS-palvelua tiedonsiirtoon varmistamaan tiedonsiirron laadun erilaisissa palveluissa. Tietoturva on myös erittäin hyvissä asemissa, koska sillä saa jopa 256 bitin salauksen tiedonsiirtoon.

WiMAXin perusnopeus on 75 Mbit/s, mutta pystyy saavuttamaan nopeammat yhteydet optimaalisissa olosuhteissa, joita kuitenkin harvoin vallitsee. Yhteyden maksimietäisyydeksi luvataan 50 km parhaissa mahdollisissa olosuhteissa, joten todennäköisempi maksimietäisyys on käytännössä paljon tätä pienempi.

Tulevaisuudessa on tulossa WiMAX versio 2, jonka tarkoituksena on nostaa tiedonsiirtonopeutta edelleen, jopa yli 350 Mbit/s.

Writer	Timo Koppanen
Thesis	WiMAX
Pages	27
Graduation time	04/2010
Thesis supervisor	Kai Poutanen

ABSTRACT

WiMAX is wireless data-transmission system, whose meaning is to offer wireless broadband to places where cable pulling for some reason isn't possible or reasonable. Technology's meaning is also to offer competing option for cable modems and DSL-connections.

WiMAX is based on standards whose common general insignia is IEEE 802.16. Development work has been going on since 2001, when first standard was published.

WiMAX is based on adaptive modulation, where modulation is chosen by propagation or link.

WiMAX offers four Quality of Services for data-transmissions to ensure quality of transmission in different services. Data security is also in very good position, offering encryption up to 256-bit for data-transmission.

WiMAX offers 75 Mbps speed but also offer faster transmission. Only though in optimal situations, which are uncommon in most cases. Max distance is promised to be 50 km, but this is too only in optimal situations so max distance is much lower. In future, there is coming WiMAX version 2, whose meaning is to raise data-transmission, up to and over 350 Mbps.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty alkuvuodesta 2010 Tampereen ammattikorkeakoulun tietoliikennetekniikan opinnäytetyöksi.

Työn tarkoituksena oli tutustua langattomaan laajakaistatekniikkaan ja selvittää miten WiMAX toimii. Valitsin aiheen, koska se vaikutti kiinnostavalta.

Kiitos kaikille opettajille jotka ovat minua opettaneet Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Tampereella huhtikuussa 2010

Timo Koppanen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	WiMAX YHTEYDET	2
	2.1 Lyhyt yhteysväli ja esteellinen yhteys	2
	2.2 Pitkä yhteysväli ja esteetön yhteys.....	2
	2.3 Liikkuva yhteys.....	4
3	WIMAX-STANDARDIT	4
	3.1 IEEE 802.16c	4
	3.2 IEEE 802.16b	5
	3.3 IEEE 802.16a	5
	3.4 IEEE 802.16e	6
	3.5 IEEE 802.16f-i-g-k-h-j.....	6
	3.6 Nykyiset ja kehiteltävät standardit	6
4	MODULAATIOMENETELMÄT	7
	4.1 OFDM ja OFDMA	8
	4.2 QAM-modulaatiot.....	10
	4.3 PSK-modulaatio	11
5	QOS – PALVELUN LAATU	12
	5.1 BE-Palvelu	13
	5.2 UGS-Palvelu	13
	5.3 rtPS-Palvelu.....	13
	5.4 nrtPS-Palvelu.....	14
6	WIMAXIN KÄYTTÄMÄT RADIOTIET JA TEKNIIKAT	14
	6.1 FDD- ja TDD-tekniikat	15
	6.2 FEC ja ARQ	16
	6.3 WirelessMAN-SC	16
	6.4 WirelessMAN-OFDM.....	17
7	WIMAX-ARKKITEHTUURI JA -TOPOLOGIA.....	18

8	WIMAXIN TIEDONSIIRRON SALAUS.....	20
9	WIMAXIN KÄYTTÖKOHTEITA JA TULEVAISUUS	22
10	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET.....	25

LYHENTEET JA TERMIT

3DES	Data Encryption Standard, tiedon suojausstandardi
3G	Third Generation, kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
AES	Advanced Encryption Standard, kehittynyt salausstandardi
AK	Authorization Key, valtuutusavain
AP	Access Point, liittymäpiste
AM	Amplitude Modulation, amplitudimodulaatio
AR	Authorization Request, valtuutuspyyntö
ARQ	Automatic Repeat Request, tiedon uudelleenpyyntötekniikka
ATM	Asynchronous Transfer Mode, asynkroninen tiedonsiirtotapa
BE	Best Effort, parhaan yrityksen palvelu
BER	Bit Error Rate, bittivirhesuhde
BS	Base Station, tukiasema
BPSK	Binary Phase Shift Keying, modulointitekniikka
BTC	Block Turbo Coding, bittien suojausmenetelmä
BWAS	Broadband Wireless Access System, langattoman laajakaistan käyttöoikeusjärjestelmä
CBC	Cipher Block Chaining, lohkojen ketjutus
CBR	Constant Bit Rate, jatkuva bittivirtasuhde
CID	Channel Identifier, yhteystunniste
CP	Cyclic Prefix, jaksottainen etuliite
Data	Tieto, sanoma, data
DOCSIS BPI +	Data Over Cable Service Interface Specifications: Baseline Privacy plus Interface specification, turvallisuusprotokolla
DSL	Digital Subscriber Line, digitaalinen tilaajayhteys
FDD	Frequency Division Duplex, taajuusjakoinen dupleksointi
FEC	Forward Error Correction, tiedonsiirron korjaustekniikka
Fixed	Kiinteä
Frame Relay	Alueverkkotekniikka

Guard	Suoja-aika
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request, tiedon uudelleenlähetystekniikka
HiperMAN	High Performance Radio Metropolitan Area Network, Euroopan langaton laajakaistatekniikka
HMAC	Hash Message Authentication Code, hash-tiedoston varmennuskoodin avain
HO	Hand Over, solunvaihto
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, hypertekstin siirtoprotokolla
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform, tehokas laskenta-algoritmi
I	Interoperability, yhteentoimivuusrajapinta
IPv4	Internet Protocol version 4, verkkoprotokollan versio 4
ISI	InterSymbol Interference, symbolien välinen interferenssi
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen vapaa taajuuskaista
KEK	Key-Encryption Key, avaimen salausavain
LMDS	Local Multipoint Distribution Service, paikallinen monipisteinen jakelupalvelu
LOS	Line Of Sight, näköyhteys, esteetön yhteys
MAC	Medium Access Control layer, siirtotien kontrollointikerros
MAN	Metropolitan Area Network, kaupunkialueen verkko
MC	Multi Carrier, monikantoaalto
Mesh	Hajautettu hallinta
MIB	Management Information Base, tiedonhallintapohja
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service, monen kanavan monipisteinen jakelupalvelu
Mobility	Liikkuvuus
MPEG	Moving Picture Experts Group, videon pakkaussuunnitteluryhmä

N-LOS	Non-Line Of Sight, ei näköyhteyttä, esteellinen yhteys
nrtPS	non-real time Polling Service, eriaikainen kiertokyselypalvelu
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing, monikantoaalto tekniikka
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access, monen käyttäjän versio OFDM:stä
PHY	Physical layer, fyysinen kerros
Pilot	Ohjauksen alikanava
PKM	Privacy Key Management, avainten hallintaprotokolla
PM	Phase Modulation, vaihemodulaatio
PMP	Point to MultiPoint, pisteestä moneen pisteeseen
PS	Physical Slot, fyysinen aikaväli
PSK	Phase Shift Keying, vaiheavainnus
PtP	Point to Point, pisteestä pisteeseen
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, modulointitekniikka
QoS	Quality of Service, palvelun laatu
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, modulointitekniikka
RAN	Radio Access Network, radiojärjestelmä
Reed-Solomon	Bittien suojaustekniikka
rtPS	real time Polling Service, reaaliaikainen kiertokyselypalvelu
SA	Security Association, turvallisuuskuvaus
SC	Single Carrier, yksittäinen kantoaalto
SNR	Signal-to-Noise Ratio, signaali-kohina-suhde
SPID	Sub Packet IDentifier, tiedonsiirtopakettien tunnistusnumero
SREJ	Selective REject, valitseva hylkäys, tiedon uudelleenlähetystekniikka
SS	Subscriber Station, päätelaite
Subcarrier Frequency	Alikanavataajuus
TDD	Time Division Duplex, aikajakoinen dupleksointi
TEK	Traffic Encryption Key, liikenteen salaussavain
UGS	Unsolicited Grant Service, parhaan suorituskyvyn palvelu

VoIP	Voice over IP, puhelupalvelu, joka käyttää internetverkkoa
Wi-Fi	Wireless Fidelity, langaton lähiverkko
WirelessHUMAN	Wireless High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network, nopea langaton laajakaistatekniikka lisensoimattomille kaupunkialueille
WirelessMAN	Wireless Metropolitan Area Network, langaton kaupunkialueen verkko
WiMAX	Worldwide Interoperability Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka

1 JOHDANTO

WiMAX (*Worldwide Interoperability Microwave Access*) on langaton laajakaistatekniikka, mikä perustuu IEEE 802-sarjan standardiin 802.16, joka valmistui 2001 ja julkaistiin 8.4.2002. Standardia kehitellään edelleen. Standardi 802.16e lisäsi tuen liikkuvuudelle (*mobility*), kun taas edellisissä standardeissa WiMAX oli vain kiinteille (*fixed*) yhteyksille /2/.

WiMAX-yhteys koostuu periaatteessa kahdesta komponentista: tukiasemasta BS (*Base Station*) ja päätelaitteesta SS (*Subscriber Station*). Tyypillinen yhteysväli on 7 - 10 km, maksimissaan 50 km. Vaikka uusimmat standardit tukevatkin esteellistä yhteyttä N-LOS (*Non-Line of Sight*), tarvitsee yhteys kuitenkin suuremmilla yhteysväleillä näköyhteyden LOS (*Line of Sight*) päätelaitteesta tukiasemaan /1/.

WiMAXilla on enemmän yhtäläisyyksiä Wi-Fi:n (*Wireless Fidelity*) kuin 3G-soluteknologian kanssa. Wi-Fi:n verrattuna WiMAXin yhteydet kantavat pidemmälle nopeammilla yhteyksillä ja siihen saadaan enemmän tilaajia /10/. Nopeus voi teoriassa olla jopa 75 Mbit/s /5/.

WiMAX-tavaramerkin omistaa WiMAX Forum, joka valvoo käytettävien laitteiden yhteensopivuutta. Tällä hetkellä WiMAX Forumiin kuuluu 520 yritystä ympäri maailmaa, esimerkiksi johtokunnassa ovat Alcatel-Lucent, AT&T, British Telecom, Fujitsu, Intel, Motorola, Nokia ja Samsung. Lisäksi mukana ovat suomalaiset yritykset Elektrobit, NetHawk, TeliaSonera ja TietoEnator /8/.

2 WIMAX-YHTEYDET

WiMAX-yhteys toteutetaan päätelaitteella SS ja tukiasemalla BS. Yhteysväli voi olla joko esteellinen N-LOS tai esteetön LOS, olosuhteista riippuen.

Taajuusalueet, joita yhteydet käyttävät, määritellään 802.16-standardissa. Ne ovat 10 - 66 GHz. Standardin 802.16a lisäyksen ansiosta taajuusalue laajeni 2 - 11 GHz:n alueelle. Nämä standardit on tarkoitettu kiinteille yhteyksille. Standardin 802.16e lisäys mahdollisti tuen liikkuville yhteyksille, jotka käyttävät taajuusaluetta 2 - 6 GHz /2/.

2.1 Lyhyt yhteysväli ja esteellinen yhteys

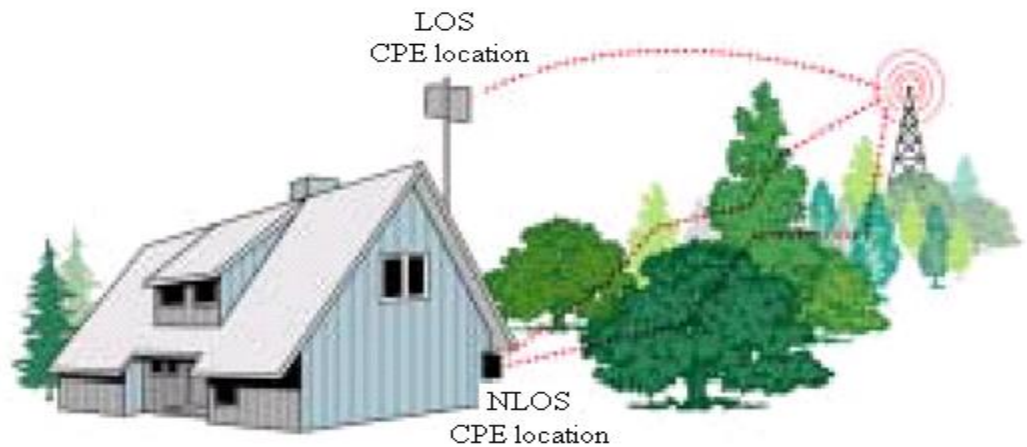
Yhteysvälin ollessa lyhyt, maksimissaan 10 km, yhteysvälillä voi olla esteitä, jolloin toiminta muistuttaa Wi-Fi:n toimintaa /10/. Pieni antenni tietokoneessa (pätelaite) riittää yhteyden saamiseen tukiasemaan (kuva 1).

Tällaisella yhteysvälillä WiMAX käyttää taajuusaluetta 2 - 11 GHz, joka määritellään standardissa 802.16a. Kanavan leveys on maksimissaan 20 MHz ja sillä saavutetaan teoriassa 75 Mbit/s tiedonsiirtonopeus. Fresnelin alueella on sallittu esteet kohtuuden rajoissa (kuva 2) /1/. Pieniä taajuuksia käytettäessä esteet eivät häiritse lähetyksiä yhtä paljon kuin isoilla taajuuksilla /10/.

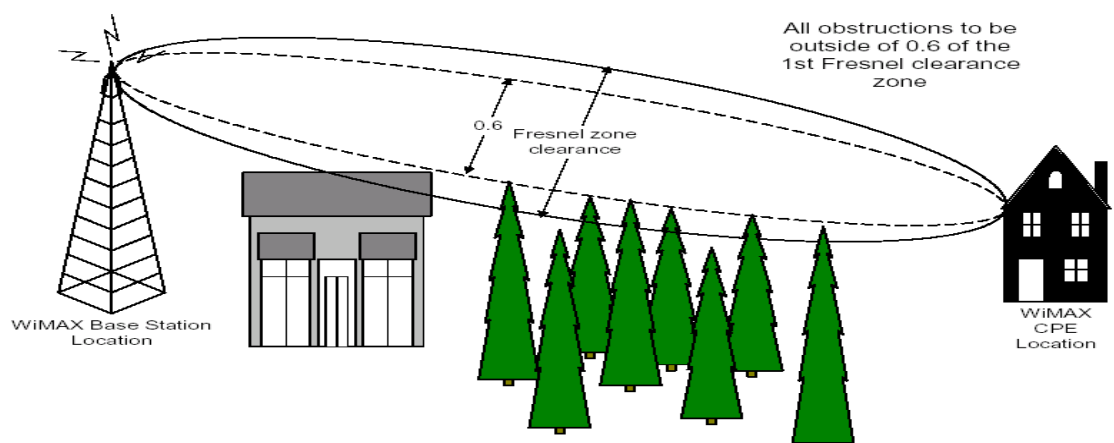
1.2 Pitkä yhteysväli ja esteetön yhteys

Yhteysvälin ollessa pitkä, maksimissaan 50 km, yhteysvälin on oltava esteetön. Yhteys muodostuu esimerkiksi katolle sijoitetun antennin (pätelaite) ja tukiaseman välille (kuva 1), jolloin yhteysväli on esteetön /10/.

Esteettömällä yhteydellä WiMAX toimii 10 - 66 GHz:n alueella, joka määritellään standardissa 802.16. Kanavan leveys on maksimissaan 28 MHz, ja sillä voidaan saavuttaa teoriassa 32 - 134 Mbit/s tiedonsiirtonopeus. Yhteysväliä ei saa olla mitään esteitä Fresnelin alueella (kuva 2) /1/. Suuremmilla taajuuksilla on vähemmän häiriöitä ja enemmän kaistanleveyttä /10/. Tosin pidemmät yhteydet kärsivät enemmän luontaisesta vaimentumisesta.



Kuva 1. WiMAX-yhteysväliä LOS ja N-LOS /18/.



Kuva 2. Fresnelin alue /18/.

2.3 Liikkuva yhteys

Yhteyden ollessa liikkuva käytetään 2- 6 GHz:n taajuusaluetta, joka määritellään standardissa 802.16e . Tyypillinen yhteysväli on maksimissaan 5 km ja se voi olla esteellinen. Kanavan leveys on 5 MHz, jolla teoriassa voidaan saavuttaa 15 Mbit/s tiedonsiirtonopeus /1/.

3 WIMAX-STANDARDIT

IEEE 802.16-2001 on WiMAX-perheen ensimmäinen standardi. Se hyväksyttiin 2001 ja julkaistiin 2002. Tämä standardi on tulosta maailmanlaajuisesta kehitystyöstä, johon osallistui satoja ihmisiä. Standardi sisältää langattoman MAN-verkon (*WirelessMAN, Metropolitan Area Network*) kiinteille laitteille. IEEE 802.16-2001 tarjoaa verkkoyhteyden rakennuksiin ulkoisten antennien avulla, jotka kommunikoivat radiotukiaseman kanssa käyttäen point-to-multipoint-infrastruktuurimallia (PMP) ja toimivat radiotaajuuksilla 10 - 66 GHz. Peruskaistanleveyden tyypillinen siirtonopeus on 70 Mbit/s ja sen huippunopeus ylittää 268 Mbit/s. Näin ollen WiMAX tarjoaisi vaihtoehdoisen yhteyden kaapeliverkoille, kaapelimodeemeille ja DSL-yhteyksille /2/.

802.16-standardi ei ollut riittävä langattomille laajakaistayhteyksille. Se käytti taajuuksia lisensoituilla taajuusalueilla ja rajoittuvat esteettömän (LOS) yhteyden etenemiseen. Standardi ei myöskään ollut yhteensopiva vastaavan eurooppalaisen eli HiperMAN-standardin kanssa. Näistä syistä 802.16-2001-standardiin tehtiin useita korjauksia /2/.

3.1 IEEE 802.16c

Ensimmäinen lisäys 802.16-standardiin oli 802.16c. Tämän lisäyksen päätarkoitus oli varmistaa yhteensopivuus olemassa olevien paikallisten monipisteisten jakelupalveluiden LMDS (*Local Multipoint Distribution*

Service) kanssa, jotka toimivat 10 - 66 GHz alueella. Koska 802.16c levittäytyy laajalle taajuusalueelle, se tarjoaa enemmän kaistanleveyttä. Kuitenkin saman asian takia 802.16c:n peittoalue ei ylitä 5 km:n rajaa. 802.16c:n päätarkoituksen lisäksi se lisäsi testauksen, suorituskyvyn arvioinnin ja järjestelmän profiloinnin, joka on tärkeä osa yhteensopivuuden aikaan saamista. 802.16c sisältää suuntaviivat pakollisten ja vaihtoehtoisten elementtien profiloinnissa varmistukseen yhteensopivuuden laitteissa. Pakollisiin elementteihin kuuluvat varatut kytkennät, IPv4-tuki kuljetusyhteydessä ja tuki fragmentoinnille. 802.16c:n vaihtoehtoiset elementit sallivat eritasoiset tietoturvaprotokollat, jotka sallivat erilaiset toimivuudet. Lisäksi 802.16c on spesifioitu olemaan verkkoteknologiariippumaton. Näin se voi toimia ATM-protokollalla (*Asynchronous Transfer Mode*), IP-protokollalla (*Internet Protocol*) tai Frame Relay-protokollalla /2/.

3.2 IEEE 802.16b

Toinen lisäys oli 802.16b, WirelessHUMAN (*Wireless High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network*). Tämä lisäys pääasiassa lisäsi QoS-palveluja (*Quality of Service*) varmistukseen eritasoiset palvelut erilaisille yhteystypeille. Tämä lisäys myös laajensi WiMAXin toimimaan lisenssivapaalla alueella 5 - 6 GHz:n. Kyseistä standardia tosin ei ole enää olemassa, mutta se on sulautettu uudempiin standardeihin /2/.

3.3 IEEE 802.16a

Kaikkein huomattavin lisäys, 802.16a, julkaistiin 2003. Se julkaistiin standardoimaan alempitaajuisten monikanavavaisten monipistejakelupalveluiden MMDS-ratkaisuja (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) lisensoituilla ja ei-lisensoituilla 2 - 11 GHz:n alueella. Toimien alemmalla taajuusalueella kuin 802.16, 802.16a pystyy tarjoamaan esteellisen (N-LOS) yhteyden ja solupeittävyuden 50 km:n etäisyydelle 75 Mbit/s nopeudella. Lisäksi 802.16a lisäsi tuen hajautetun hallinnan (*mesh*) toimintamuodolle, joka helpottaa tilaajalta tilaajalle yhteyksiä /2/.

3.4 IEEE 802.16e

2002 perustettiin ryhmä tuottamaan lisäys, joka kattaa fyysisen PHY-kerroksen (*Physical*) ja MAC-kerroksen (*Medium Access Control*) yhdistetyn, kiinteän ja liikkuvan, operaatiot lisensoidulla taajuusalueella. Lisäys hyväksyttiin 2005 ja julkaistiin 2006. Standardia kutsuttiin nimellä IEEE 802.16e-2005. Tämän standardin tarkoituksena oli tarjota tuki päätelaitteille, jotka kulkevat ajoneuvojen nopeudella – samalla standardia korjattiin muutenkin. 802.16e lisäsi HO:t (*Handover*), joka aiheutti muutoksia PHY- ja MAC-kerroksilla liikkuvuuden takia, kuten tehon hallinta /2/.

3.5 IEEE 802.16f-i-g-k-h-j

Edellisten standardien lisäksi on lisäyksiä kuten 802.16f, joka määritteli tiedonhallintapohjan MIB (*Management Information Base*). 802.16i-standardi lisäsi liikkuvuuden MIB:hen. 802.16g lisäsi hallintotason menettelyt ja palvelut. 802.16k lisäsi siltaukset (*Bridging*). 802.16h lisäsi parannetun rinnakkaiselomekanismin lisenssivapaalle operaatiolle. 802.16j lisäsi tuen monihyppy-releen liikkuvuudelle /2/.

3.6 Nykyiset ja kehiteltävät standardit

Suurin osa luetelluista standardeista on joko sulautettu johonkin toiseen, uudempaan standardiin tai sitten korvattu paremmalla. Voimassa olevat standardit ovat 802.16k, 802.16j, 802.16.2-2004 ja 802.16-2009 /14/.

802.16.2-2004 koostuu standardeista 802.16.2-2001 ja P802.16.2a /14/.

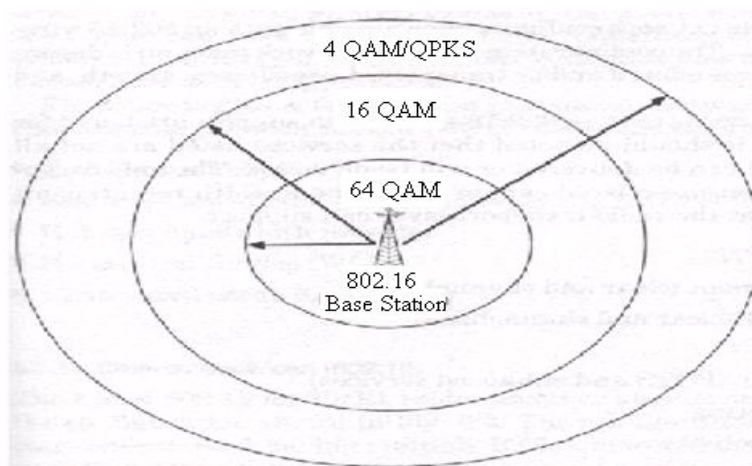
802.16-2009 on nykyisin voimassa oleva päästandardi. Tämä standardi lisäsi ilmarajapinnan kiinteille ja liikkuville BWAS–systemeille (*Broadband Wireless*

Access System). 802.16-2009 on muodostettu seuraavista standardeista: 802.16-2004, 802.16-2004/Cor 1, 802.16e, 802.16f, 802.16g ja P802.16i /14/.

Kehiteltäviä standardeja on kaksi: 802.16h ja 802.16m. 802.16h lisää parannetun rinnakkaiselomekanismin lisenssivapaalle operaatiolle. 802.16m lisää parannetun ilmarajapinnan, jolla voitaisiin saavuttaa jopa 100 Mbit/s nopeus liikkuville yhteyksille ja 1 Gbit/s nopeus kiinteille yhteyksille /14/. 802.16m -standardi on myös tulevaisuudessa julkaistavan WiMAX versio 2:n selkäranka. Versio 2 on yhteensopiva edellisen version kanssa, jolloin ongelmia sukupolven vaihdoksessa ei ole /9/.

4 MODULAATIOMENETELMÄT

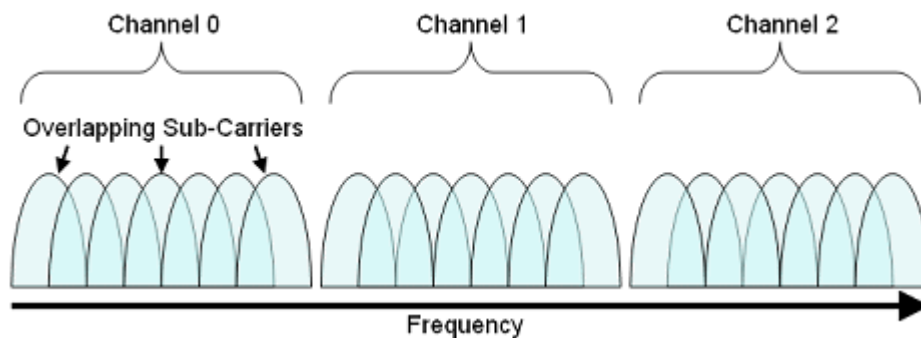
Moduloinnilla tarkoitetaan menetelmää, jonka avulla tieto sovelletaan siirtotielle sopivaksi. WiMAX tukee adaptiivisia modulaatioita käyttäen 64 QAM:ää, 16 QAM:ää, 4 QAM:ää/QPSK:ta tai BPSK:ta sen mukaan, mikä on tilaajan etäisyys tukiasemasta (kuva 3). Monitasoisemmilla modulaatiomenetelmillä on enemmän kapasiteettia siirtää tietoa, mutta niiden peittoalue on pienempi, ja niillä on huonompi häiriönsietokyky. Modulaation lisäksi tiedonsiirtonopeuteen vaikuttaa kanavan kaistanleveys. Mitä suurempi kaistanleveys, sitä enemmän mahtuu tietoa kulkemaan.



Kuva 3. Adaptiivinen modulaatio /1/.

4.1 OFDM ja OFDMA

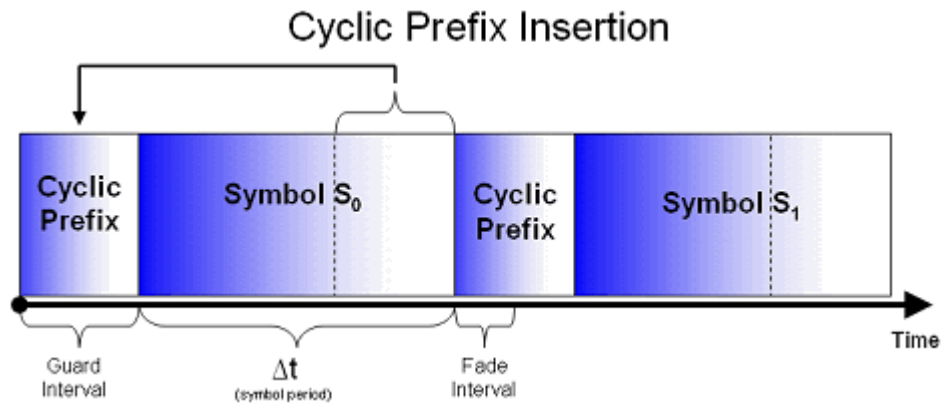
WiMAX perustuu OFDM-monikantoaalteknikkaan (*Orthogonal frequency-division multiplexing*). OFDM on keino, joka lähettää tietoa yhtäaikaaisesti useilla alikanavataajuuksilla (*sub-carrier frequency*). Nimi tulee siitä, että kaikki alikanavataajuudet ovat molemminpuolisesti ortogonaalisia ja siksi signalointi yhdellä taajuudella ei ole näkyvä millään toisella alikanavataajuudella. Alikanavataajuudet ovat päällekkäin, mutta yhden alikanavan keskikohdassa viereisten alikanavien amplitudit ovat nollassa (kuva 4).



Kuva 4. OFDM-kanavien alikantotaajuuksien ortogonaalisuus /11/.

Ortogonaalisuus saavutetaan, kun kerätään lähetettävät symbolit jokaiseen alikanavaan taajuusalueella ja sitten yhtäaikaaisesti muunnetaan kaikki yhteen aika-alueeseen käyttäen käänteistä nopeaa Fourier-muunnosta (IFFT, *Inverse Fast Fourier Transform*) /3/.

OFDM on erittäin sopeutuva yhteysvälin ongelmiin, joten WiMAX toimii N-LOS-ympäristössä osittain. Monitie-etenemisen ja ISI-ongelmien (InterSymbol Interference) vähentämiseen luodaan suoja-aika OFDM-symbolien väliin lisäämällä jaksottainen etuliite (CP, *Cyclic Prefix*) jokaisen symbolin alkuun (kuva 5). Tämä saavutetaan kopioimalla symbolin loppu ja lisäämällä se symbolin eteen. Niin kauan kuin kanavan viive on lyhyempi kuin CP, ISI:n vaikutus on lievennetty /3/.

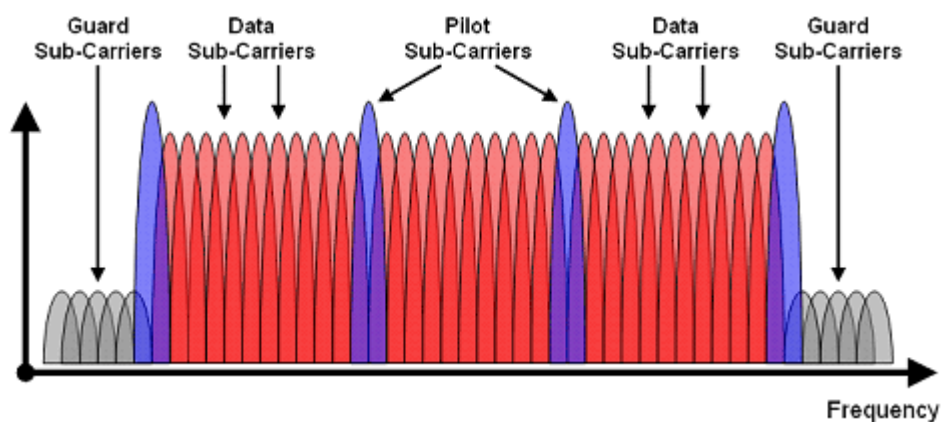


Kuva 5. Suoja-ajan luonti symbolin lopusta /11/.

Jokainen OFDM-kanava sisältää 128 - 2048 alikanavaa ja voi varata kaistan leveyttä 1,25 MHz:stä 20 MHz:iin. Jokainen alikanava moduloidaan fyysisen reitin vaatimuksien mukaan joko BPSK-, QPSK- (4-QAM), 16-QAM- tai 64-QAM-modulaatiolla /11/.

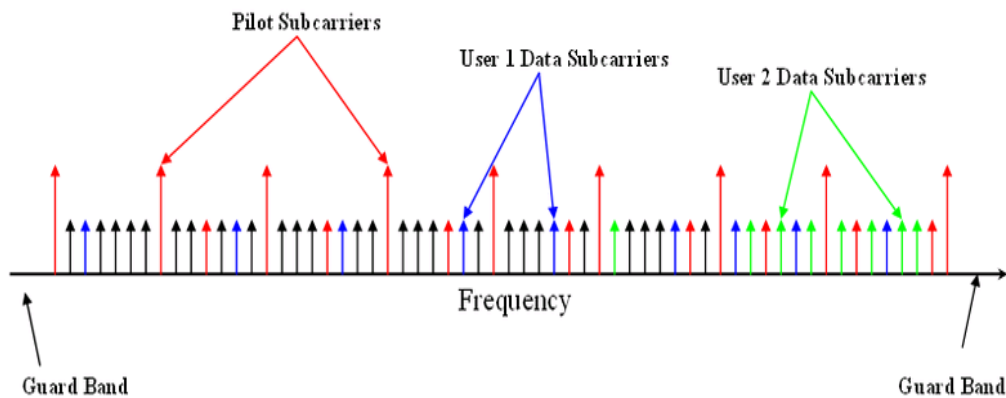
WiMAX käyttää jokaisen kanavan alikanavan kolmella tietyllä tavalla. Jotkin toimivat suoja-aikana (*Guard*), toiset kantavat tiedon (*Data*) ja kolmannet (*Pilot*) ohjaavat ja estimoivat sekä synkronoivat kanavan. Alikanavat järjestetään kuvan 6 mukaan /11/.

OFDM on suositeltu käytettäväksi lyhyillä yhteysväleillä /4/.



Kuva 6. Alikanavien käyttö WiMAXissa /11/.

OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) on monen käyttäjän versio OFDM:sta. OFDMA:a käytettäessä alikanavia voi olla jopa 4096. Monipääsy saavutetaan osoittamalla osa alikantoaalloista yksittäisille käyttäjille kuvan 7 mukaan. Tällä saavutetaan yhteydet usealle käyttäjälle pienillä nopeuksilla /22/.



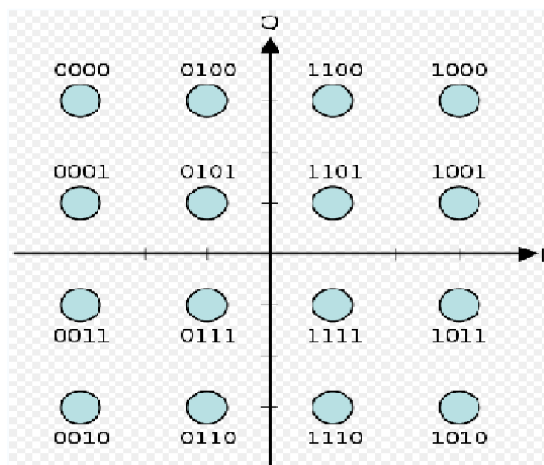
Kuva 7. OFDMA:n alikanavien käyttö /16/.

4.2 QAM-modulaatiot

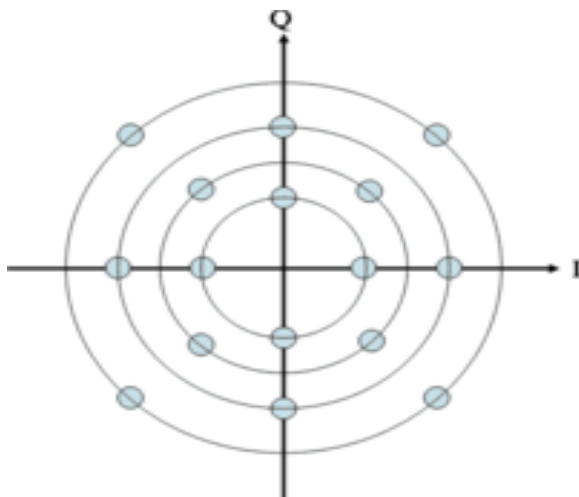
QAM-modulaatiotekniikka (*Quadrature Amplitude Modulation*) on yhdistelmä vaihemodulaatiosta (PM, *Phase Modulation*) ja amplitudimodulaatiosta (AM, *Amplitude Modulation*).

QAM-variaatiot ovat neljän potensseja modulaatiosymbolien lukumäärästä ja se ilmaistaan QAM-lyhenteen edessä. Esimerkiksi 16-QAM:ssa on 16 eri symbolia, joita voidaan siirtää. Muita QAM-luokkia ovat 4-QAM (QPSK), 64-QAM ja 256-QAM.

Kuvassa 8 nähdään suorakulmainen 16-QAM-konstellaatiokuvio. Koska siinä on 16 eri tilaa, voidaan yhdellä symbolilla siirtää 4 bittiä kerrallaan. On myös olemassa pyöreä konstellaatiomenetelmä (kuva 9), jolla saavutetaan marginaalisesti parempi bittivirhesuhde (BER, *Bit Error Rate*), mutta se on vaikeampi moduloida ja demoduloida /20/.



Kuva 8. Suorakulmainen 16-QAM-konstellaatiokuva /12/.



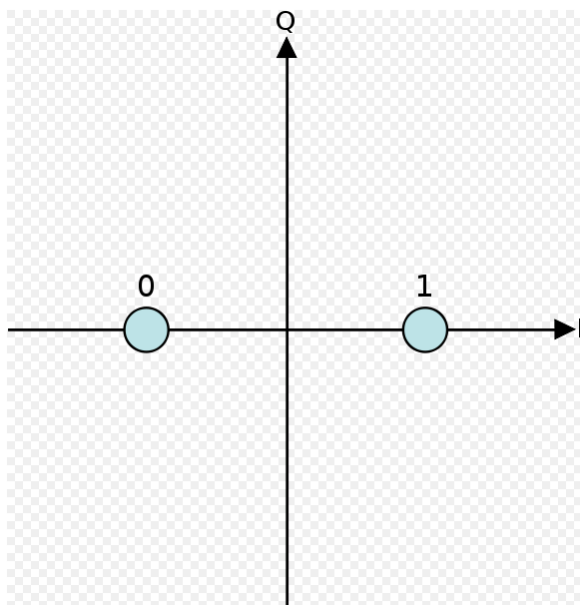
Kuva 9. Pyöreä 16-QAM-konstellaatiokuva /12/.

Mitä monitasoisempaa QAM-modulaatiota käytetään, sitä enemmän siirtyy bittejä kerralla. Esimerkiksi 256-QAM pystyy siirtämään symbolissa 8 bittiä kerralla. Tosin mitä monitasoisempaa menetelmää käytetään, sitä parempi signaali-kohina-suhde (SNR, *Signal-to-Noise Ratio*) pitää olla, ja näin ollen rajoittaa monitasoisemman modulaation käyttöä pidemmällä yhteysväleillä.

4.3 PSK-modulaatio

Yksinkertaisin modulointi mitä WiMAX käyttää on vaiheavainnus (PSK, *Phase Shift Keying*), tarkemmin sanottuna BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). BPSK

lähettää vain yhden bitin per symboli (kuva 10), ja koska konstellatiopisteet ovat 180° toisistaan, se tekee systeemistä häiriösiertoisia. Tarvitaan erittäin suuri konstellatiopisteiden siirtyminen, että demodulaattori lukee väärin lähetetyn tiedon /21/.



Kuva 10. PSK-modulaation konstellatio /13/.

5 QOS – PALVELUN LAATU

IEEE 802.16-standardi spesifioi, että tukiasema on vastuussa kun järjestetään tiedonkulku tilaajalle. Tiedonkulkuun on olemassa QoS-palveluja (*Quality of Service*), joilla varmistetaan oikeanlainen tiedonsiirto datan vaatimuksien suhteen. QoS-palveluja varten MAC-kerrokselle (*Medium Access Control*) ja fyysiselle PHY-kerrokselle (*Physical*) on määritelty joitakin mekanismeja /4/. MAC-kerros määrittelee mitä yhteyden laatua käytetään.

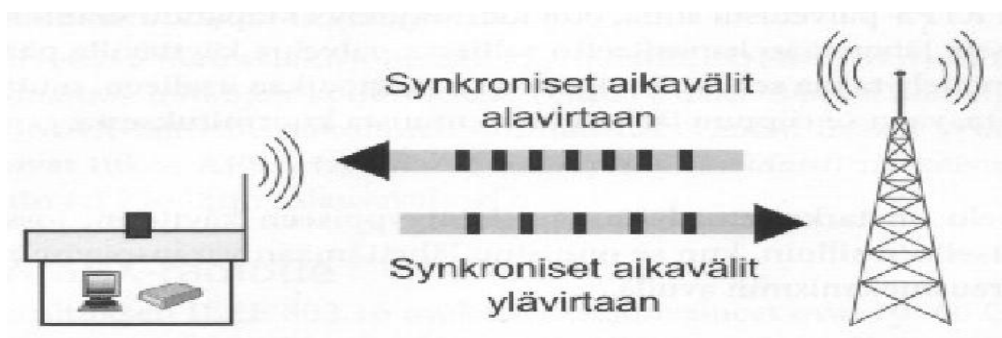
802.16-standardi sisältää neljä erilaista QoS-ajoituspalvelua tiedonsiirtoon: BE, UGS, rtPS ja nrtPS.

5.1 BE-Palvelu

Parhaan yrityksen palvelu BE (*Best Effort*) on palvelu, missä lähetyksen koolla ei ole väliä, vaan tieto lähetetään, kun on tilaa. Se tarkoittaa, että BE käyttää kilpavarausta. Tyypillinen sovellus on esimerkiksi HTTP-protokolla (verkkoselaus). Tämä lähetyksen muoto yksi tärkeimmistä, koska suurin osa tietoliikenteestä on tätä muotoa /3/.

5.2 UGS-Palvelu

UGS (*Unsolicited Grant Service*) on suunniteltu reaaliaikaisia palveluvirtoja varten, jotka generoivat tietyin aikavälein kiinteitä datapaketteja (kuva 11), kuten VoIP (*Voice over IP*). Tämä palvelu antaa tietyin väliajoin tilaajalle mahdollisuuksia datan lähetykseen, joka vähentää viivettä ja turhaa dataa kuten tilaajalta lähteviä pyyntöjä lähetykseen. Kilpavaraus käyttöoikeudesta on kielletty UGS-palveluissa /3/. UGS-palvelun kaltaista palvelua kutsutaan myös CBR:ksi (*Constant Bit Rate*) /5/.

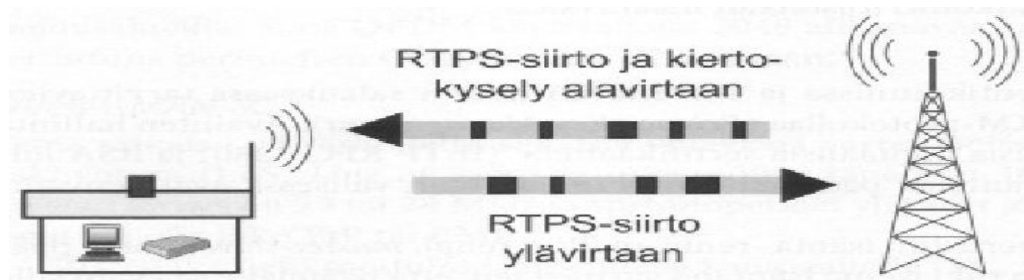


Kuva 11. UGS-palvelun siirtovirrat /5/.

5.3 rtPS-Palvelu

Reaaliaikainen äänestyspalvelu rtPS (*real-time Polling Service*) käyttää reaaliaikaisia datavirtoja, jotka generoivat erikokoisia datapaketteja tietyin väliajoin. Yksi tällainen on MPEG-video. Palvelu antaa määräajoin tilaisuuksia tilaajalle lähettää, samalla voi tulla tietoa alavirtaan (kuva 12), jolloin tilaaja voi määrittellä

kuinka paljon se lähettää kyseisellä aikavälillä. Tilaajalta on kielletty kaistan kilpavaraus ja piggyback-pyyntöt /3/. Piggyback-pyyntöllä tarkoitetaan sitä, että kun tilaaja lähettää dataa, siinä samalla menisi lähetyspyyntö, eli pyyntö ”ratsastaisi” datapakettien mukana /19/.



Kuva 12. rtPS-palveluiden siirtovirrat

5.4 nrtPS-Palvelu

Eriaikainen äänestyspalvelu nrtPS (*non-real time Polling Service*) on suunniteltu eriaikaisia palveluvirtoja varten, jotka tarvitsevat vaihtelevan kokoisia datalähetyksiä säännöllisin väliajoin. Yksi tällainen on FTP (File Transfer Protocol), joka tarvitsee paljon kaistanleveyttä. Palvelu tarjoaa tilaisuuksia tilaajalle väliajoin, mutta tarjotut aikavälit ovat suurempia kuin rtPS:ssä. Tällä varmistetaan pyyntöjen saanti jopa verkon ruuhkautuessa. Lisäksi sallitaan tilaajan käyttää kilpavarauksia ja piggyback-pyyntö mahdollisuuksia /3/.

6 WIMAXIN KÄYTTÄMÄT RADIOTIET JA TEKNIIKAT

WiMAX-standardien mukaan WiMAX käyttää taajuusaluetta 2 - 66 GHz väliltä. Euroopassa käytetään 3 GHz:n ja 5,8 GHz:n taajuusalueita /5/. Suomessa tällä hetkellä käytetään 2,5 GHz:n ja 3,5 GHz:n alueita /15/.

Radiotiellä datan siirtoon käytetään FDD-tekniikkaa (*Frequency Division Duplex*) tai TDD-tekniikkaa (*Time Division Duplex*). Lisenssivapaalla ISM-taajuusalueella,

esimerkiksi 5,150-5,875 GHz, toimivat järjestelmät käyttävät vain TDD-tekniikkaa /5/.

WiMAX jakaa tiedonsiirtotekniikat kahteen kategoriaan, SC-tekniikkaan (*Single Carrier*) ja OFDM-tekniikkaan. SC-tekniikasta käytetään suosituksessa nimitystä WirelessMAN-SC ja OFDM-tekniikasta WirelessMAN-OFDM. Lisäksi on vielä 802.16e-standardin mukana tullut tekniikka liikkuvuudelle, joka käyttää sekä yhtä kantoaaltoa, että OFDM-tekniikkaa 2 - 11 GHz alueella. On myös WirelessHUMAN-tekniikka, joka tuli 802.16b-standardin mukana, joka käyttää MC-tekniikkaan (*Multi Carrier*) perustuvaa tekniikkaa ja sitä käytetään lisenssivapailla alueilla /5/.

6.1 FDD- ja TDD-tekniikat

Sekä FDD että TDD ovat duplex-pohjaisia ja ala- ja ylävirta erotetaan toisistaan joko ajallisesti käyttäen TDD-tekniikkaa tai sitten taajuudellisesti käyttäen FDD-tekniikkaa. FDD on kyseisistä teknologioista ainoa täysin kaksisuuntainen (*full-duplex*), kun TDD on vuorosuuntainen (*half-duplex*).

Riippumatta tekniikasta tekniikat käyttävät kiinteitä kehyksiä (*frames*), jotka ovat kestoltaan 0,5, 1 tai 2 ms. Kehys sisältää kaksi alikehystä (*subframe*). Alikehykset muodostuvat fyysisistä aikaväleistä PS (*Physical Slot*) ja bittien määrä aikaväliä kohti määrittelee yhteyden siirtonopeuden /5/.

FDD-tekniikka on luonteeltaan symmetrinen, koska ylä- ja alavirralle määritellään omat taajuuskaistat. Koska virrat ovat eri kaistoilla, lähetykset ovat aina samankokoisia. Näin ollen FDD-tekniikkaa käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan yhtä suuri tiedonsiirto kumpaankin suuntaan /4/.

TDD-tekniikka käyttää yhtä ainoaa taajuuskaistaa kumpaankin suuntaan mutta jakaa virrat ajallisesti. TDD jakaa tiedon kehyksiin ja asettaa eri aikavälit ylä- ja alavirralle jokaisella kehykselle. Koska laitteet käyttävät samaa taajuuskanavaa

lähetykseen ja vastaanottoon tarvittaessa, TDD voi joustavasti kontrolloida, kuinka paljon kaistaa ylä- tai alavirta tarvitsee. Tästä syystä TDD:llä on suurempi kaistan hyötysuhde kuin FDD:llä asymmetrisessä kommunikoinnissa, jossa alavirta on paljon suurempi kuin ylävirta /4/.

6.2 FEC ja ARQ

WiMAX-tekniikka käyttää FEC-tekniikkaa (*Forward Error Correction*) siirtovirheidensä korjaamiseen. Tekniikka ei takaa virheetöntä siirtoa, mutta parantaa tiedonsiirtoa eli nostaa bittivirhesuhdetta /5/.

FEC-tekniikoissa lähettäjä sisällyttää lähetettävään dataan ylimääräistä dataa, jota vastaanottaja käyttää korjatakseen vastaanotetun datan. Tämä vähentää uudelleen lähetyksen tarvetta /17/.

Jos FEC ei voi korjata vastaanotettua tietoa, pyydetään virheelliset sanomat uudelleen ARQ-tekniikalla (*Automatic Repeat Request*). WiMAX käyttää kahta menetelmää uudelleen lähetykseen. Selektiivinen negatiivinen kuittaus (SREJ, *Selective REject*) on ensimmäinen ja se perustuu sarjanumeroihin (SPID, *Sub Packet Identifier*), joiden avulla voidaan käyttää liukuvan ikkunan menetelmää. Toinen mahdollisuus on HARQ-tekniikka (*Hybrid Automatic Repeat Request*), joka toimii Stop-And-Wait-periaatteella. Rinnakkaisten datayhteyksien takia WiMAX-linkkien käyttöaste on suuri ja koska kuittaus tulee protokollapinon alimmilta kerroksilta, yhden datavuon hetkellisellä pysähtymisellä ei ole merkitystä verkon suorituskykyyn /5/.

6.3 WirelessMAN-SC

WirelessMAN-SC-tiedonsiirtotekniikkaa käytetään näköyhteysväleillä ja liikennöinti tapahtuu 10 - 66 GHz alueella. Kuitenkin yleensä alle 11 GHz:n taajuuksilla toimivista yhden kantoaallon tekniikoista käytetään nimeä WirelessMAN-SC. Data moduloidaan WirelessMAN-SC:ssä yhteen kantaalaan ja

siirtonopeus voi ylittää jopa 120 MBit/s käyttäen kaistanleveyttä 25 tai 28 MHz, topologian ollessa joko PtP (*Point to Point*) tai PMP (*Point to MultiPoint*) /5/.

WirelessMAN-SC käyttää kanavan koodaukseen seuraavanlaisia vaiheita: Ensimmäiseksi tulee siirrettävän tiedon sekoitus (*scrambling*) satunnaislukugeneraattorilla. Toiseksi sekoitettu bittijoukko suojataan yhdellä neljästä suojausmenetelmästä, jonka jälkeen data levitetään purskeelle. Sitten valitaan modulointimenetelmä jolla data siirretään. Jos sanoma ei täytä pursketta, se täytetään binaarinollilla /5/.

Sekoitetun bittijoukon suojausmenetelmiä:

1. Reed-Solomon-suojaus, kun vaaditaan suurta siirtonopeutta ja hyvää suojausta /5/.
2. Reed-Solomon-suojaus, jota täydentää 2/3-konvoluutiokoodaus. Voidaan käyttää hitaammissa yhteyksissä, mutta vaaditaan hyvä bittivirhesuhde /5/.
3. Reed-solomon-suojaus täydennettynä pariteettitarkistuksella /5/.
4. Nk. BTC-koodaus (*Block Turbo Coding*), joka perustuu turbokoodaukseen kaksiuotteisella Hamming-matriisilla /5/.

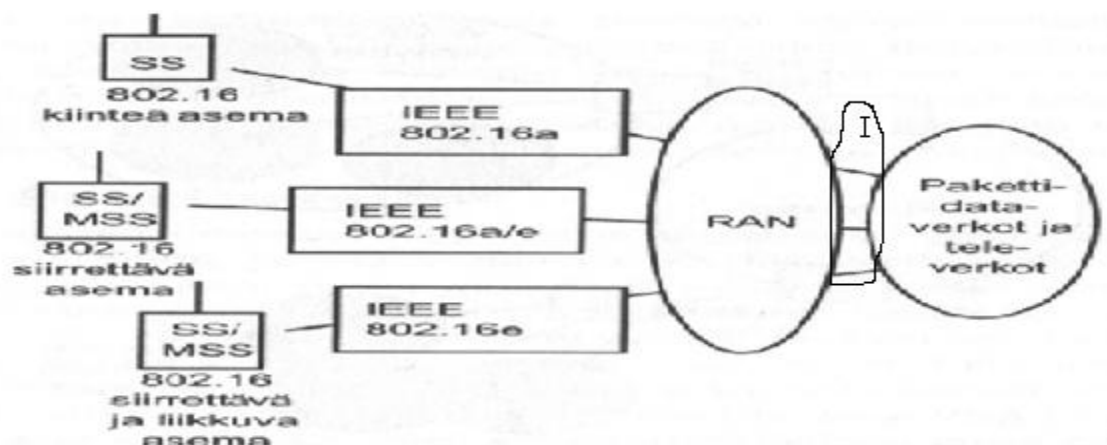
6.4 WirelessMAN-OFDM

WirelessMAN-OFDM-tekniikkaa käytetään alle 11 GHz:n taajuuksilla ja se soveltuu sekä yhteyksille, joissa on näköyhteys, että esteellinen yhteys. OFDM-tekniikassa symbolit jakautuu usealle alikanavalle, jolloin yksittäisten symbolien kesto (pituus) kasvaa alikanavakohtaisen siirtonopeuden pienentyessä. Tämä aiheuttaa monitie-etenemisen ja Doppler-siirtymän aiheuttaman symbolien välisen interferenssin (ISI) pienenemisen /5/.

WirelessMAN-SC:n tavoin WirelessMAN-OFDM-kanavalla siirtyvä data käy läpi kolme vaihetta: sekoituksen, suojaus bittivirhesuhteen parantamiseksi ja koodatun tiedon levityksen. Tieto sekoitetaan satunnaislukugeneraattorilla ja siirrettävän bittijoukon perään liitetään Reed-Solomon-menetelmällä tai turbokoodauksella laskettu korjaustieto. Tämän jälkeen bitit 1/2-konvoluutiokoodataan ja suoritetaan mahdollinen lävistys (*puncturing*) koodauksen keventämiseksi. Seuraavaksi levitetään (permutoidaan) koodattu bittijoukko kahdessa vaiheessa: varmistetaan, että vierekkäiset bitit eivät joudu vierekkäisille alikanaville ja sitten huolehditaan siitä, että vierekkäiset bitit käyttävät vuorotellen enemmän ja vähemmän merkitseviä positioita moduloinnin konstellaatiossa. Tämän jälkeen siirretään bittijoukko purskeelle. Purskeeseen lisätään vielä tarkkailukanavan bittejä ja ne moduloidaan asianomaisen alikanavan käyttämällä modulointitekniikalla /5/.

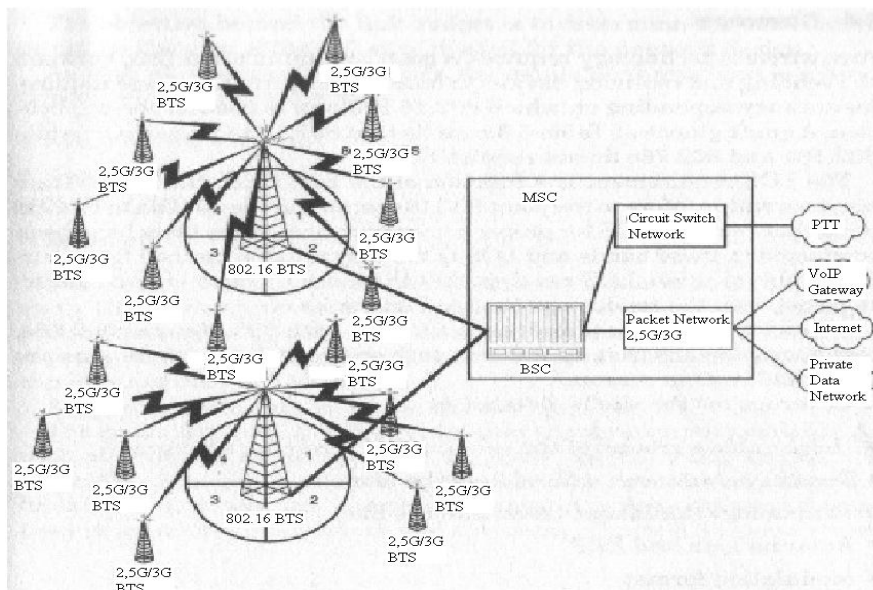
7 WIMAX-ARKKITEHTUURI JA -TOPOLOGIA

WiMAX-arkkitehtuuri koostuu kolmesta päälohkosta, jotka ovat päätelaite SS, joka on käyttäjällä, radiojärjestelmä RAN (*Radio Access Network*), joka toimii siirtotienä ja muiden verkkojen kytkemiseen vaadittavasta rajapinnasta (I, *Interoperability*) (kuva 13). Käyttäjät kytkeytyvät ilmatiellä tukiasemien (AP, *Access Point*) kautta WiMAX-järjestelmään /6/.

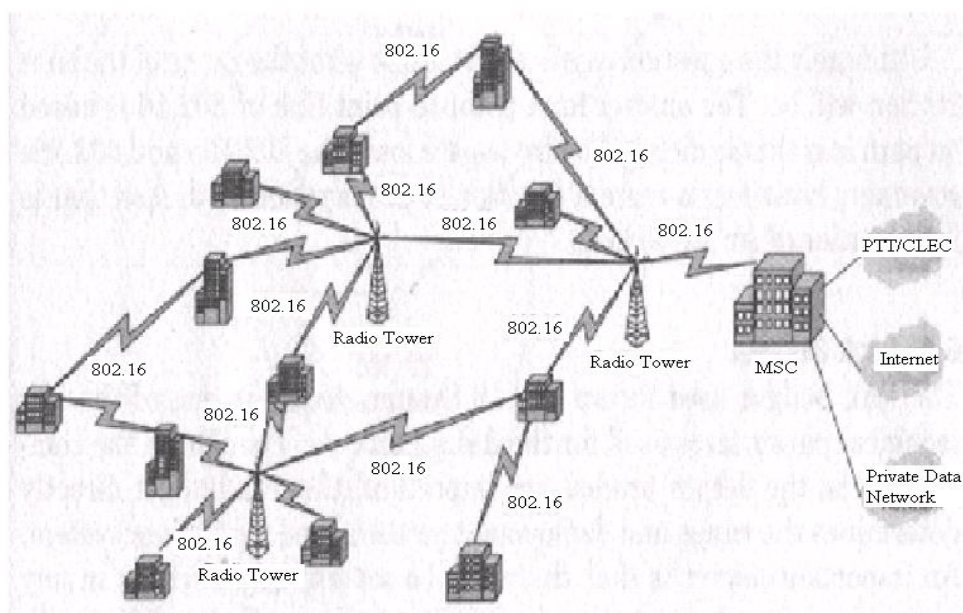


Kuva 13. WiMAX-arkkitehtuuri /6/.

Topologialla tarkoitetaan tapaa jolla yhteysvälin laitteet kytketään toisiinsa. Topologiat perustuvat yleensä joko pisteestä pisteeseen (PtP) tai pisteestä moneenpisteeseen (PMP) järjestelmiin. WiMAXin käyttämät kaksi päätopologiaa ovat tähti (*star*) ja hajautettu (*mesh*). Tähtitopologiassa yksi tukiasema jakaa yhteyden päätelaitteille sen peittoalueella (kuva 14) ja mesh-topologiassa päätelaitteet jatkavat verkkoa eteenpäin toisille tukiasemille (kuva 15) /1/.



Kuva 14. Tähtitopologia /1/.



Kuva 15. Mesh-topologia /1/.

Käytettävä topologia riippuu useista tekijöistä, joita ovat mm. kaistanleveys, tarvittava kapasiteetti, palveluiden jako ja fyysiset ongelmat kuten siirtovälin esteellisyys. WiMAX-verkkototeutus voidaan myös tehdä niin, että se korvaa kiinteän ”last mile”-yhteyden kullekin käyttäjälle erikseen tai käyttämällä WiMAXia osana transmissioverkon toteutusta. Kummallakin topologialla on omat huonot ja hyvät puolensa. Esimerkiksi tähti antaa paremman kapasiteetin soluun kuin mesh. Tosin meshin avulla levittäydytään nopeammin ja ei tarvita esteettömyyttä pääkeskuksen kanssa. Mesh-topologia olisi myös parempi yhdistämään käyttäjältä käyttäjälle. Kuvassa 14 näkyy myös, kuinka WiMAX-tukiasema voisi toimia myös langattomien 2,5G- ja 3G-teknologioiden potentiaalisena runkoyhteysrakenteena /1/.

WiMAX on suunniteltu niin, että se voisi muiden WLAN-versioiden kaltaisesti mahdollistaa hot-spot-peittoalueet. WiMAX-peittoalueet voivat olla yhtenä kerroksena GSM/UMTS/Wi-Fi-järjestelmien palvelualueilla. WiMAX:n perusideana on mahdollistaa eri matkaviestin- ja IP-verkkojen välinen yhteistoiminta. /6/.

8 WIMAXIN TIEDONSIIRRON SALAUS

WiMAX sisältää tietoturvakerroksen (*security sublayer*), joka sijoittuu MAC-kerrokselle, joka huolehtii avainten hallinnasta, autentikoinnista ja datan salakirjoituksesta. Turvallisuustasot määritellään kunkin yhteyden kohdalla erikseen silloin, kun yhteys muodostetaan /5/.

WiMAXin tärkeät turvallisuusprotokollaosat on perustettu DOCSIS BPI + – protokollaan (*Data Over Cable Service Interface Specifications: Baseline Privacy plus Interface specification*), joka on käytössä kaapelimodeemeilla. Koska DOCSIS-protokolla oli kehitetty kaapelimodeemeille eikä langattomille systeemeille,

alkuperäiseen 802.16-standardiin ei sisältynyt riittävää tietoturvaa. Myöhemmät lisäykset korjasivat ongelmia /2/.

Suojaustoimet alkavat autentikoinnilla yhteyspyynnön aluksi. Jokaisella päätelaitteella on 48-bittinen tunniste ID tai MAC-osoite ja X.509-sertifikaatti. Päätelaite sisältää myös valmistajan X.509-sertifikaatin, mutta se yleisesti ohitetaan ja ei vaikuta turvallisuuteen mitenkään /2/. Tukiasema joko hyväksyy tai hylkää yhteyspyynnön ja jos se on hyväksytty, tukiasema lähettää heti sen jälkeen AR-sanoman (*Authorization Request*), joka sisältää sertifikaatin lisäksi tiedot tukiaseman salausmenetelmistä sekä ensimmäiseen yhteyteen tarvittavan yhteystunnisteen (CID, *Channel Identifier*) /5/. Kun tukiasema lähettää hyväksynnän on hyväksyntä salattu päätelaitteen yleisellä avaimella ja sisältää valtuutusavaimen (AK, *Authorization Key*), avaimen eliniän, avaimen järjestysnumeron ja SA-kuvaajan (*Security Association*) /2/.

Päätelaite käyttää autentikoinnissa ja siirrettävän datan salauksessa tarvittavien avainten hallintaan PKM-protokollaa (*Privacy Key Management*). Avainten hallinta perustuu isäntä-renki-malliin (*master-slave*) /5/. PKM-viestien vaihto luo AK:n ja SA:n. Järjestysnumerot protokollassa edustavat AK:n tapauksia. AK:ta käytetään johtamaan kolme lisäavainta koodaukseen ja varmistukseen tulevilla viesteillä niiden lähteestä ja eheydestä /2/. AK:ta käytetään myös dataliikenteen salauksessa käytettävien avainten TEK (*Traffic Encryption Key*) vaihtoon /5/. Johdettuja avaimia ovat sekä ylä- että alavirtaan olevat HMAC-avaimet (*Hash Message Authentication Code*) sekä avaimen salausavain KEK (*Key-Encryption Key*). KEK:tä käytetään avainten vaihtoviesteihin, jotta saadaan lähettämisen koodausavaimet, kun siirretään dataa /2/.

Siirrettävä tieto salakirjoitetaan 3DES-salakirjoituksella (*Data Encryption Standard*) ja lohkojen ketjutuksella CBC (*Cipher Block Chaining*). Kyseiset ominaisuudet ovat kaikille WiMAX-laitteille pakollisia. Tämän lisäksi WiMAX-verkon laitteet voivat käyttää AES-salakirjoitusta (*Advanced Encryption Standard*) 128- tai 256-bitin salausavaimella /5/.

9 WiMAXIN KÄYTTÖKOHTEITA JA TULEVAISUUS

WiMAX on käyttökelpoinen haja-asutusalueilla, joissa mahdolliset asiakkaat asuvat laajasti erillään ja mihin perinteinen kiinteän kaapelin veto olisi kallista tai olemassa oleva teleinfrastruktuuri ei toimi laajakaistayhteyksillä. Tällaisia seutuja on monin paikoin esimerkiksi Latinalaisen Amerikan, Afrikan ja Aasian maissa /6/.

WiMAX sallisi myös MAN-verkon rakennus mahdollisuuksia, koska se voisi käyttää nykyisiä olemassa olevia radiotukiasemia ja näin ollen suurin osa kaupungeista olisi peittoalueella. MAN-verkkojen rakennus WiMAXin avulla vähentäisi valokuitukaapeleiden tarvetta, joita tarvitaan kun langallisten laajakaistojen siirtokapasiteettiä yritetään nostaa. Tosin WiMAXia tarvitsee vielä parantaa, että se toimisi ilman suuria haittoja kaupunkioiloissa, koska seinät vaimentavat signaalia. Tarvittaisiin näköyhteys jokaisen talon ja tukiaseman välillä taatakseen toimivuuden. Älyantennien käyttömahdollisuus on myös otettu huomioon kehitystyössä ja ne parantaisivat yhteyden toimivuutta huomattavasti esimerkiksi silloin kun antenni pitäisi sijoittaa sisätiloihin.

Wimax-tekniologia yhdistettynä IP-tekniologian kanssa voisi olla ratkaisu langattomaan videotarkkailuun paikkoihin, joihin kiinteiden kaapelien veto voi olla vaikeaa tai kallista, kuten esimerkiksi liikenne.

WiMAX voisi myös olla langattomien pankkiautomaattien yhteystekniikka, joka auttaa pankkeja laajentumaan myös haja-asetusseuduille. WiMAX soveltuu myös terveyspalveluihin, kuten terveydentilan tarkkailuun langattomasti /7/.

WiMAXia käytetään toistaiseksi Suomessa vähän. Myös Nokia on ollut kehitystyössä mukana, mutta on vetäytynyt useasti hankkeesta. Tällä hetkellä Nokia on jälleen mukana. 2009 järjestettiin Suomen ensimmäinen taajuuskaistan huutokauppa, jossa Pirkanmaan Verkko OY osti oikeudet aikajakaiseen TDD-alueeseen, joka sijaitsee 2570 - 2620 MHz:n välillä. Kyseiselle taajuusalueelle on tarkoitus rakentaa WiMAX-verkkoa eli tulevaisuudessa WiMAX saattaa olla erittäin

vahva kilpailija muille laajakaistatekniikoille Suomessa. WiMAXiin on kehitteillä lisäyksiä, joilla päästään yli 100 Mbit/s nopeuteen liikkuvilla yhteyksillä ja 1 Gbit/s nopeuteen kiinteillä yhteyksillä. Tulevaisuudessa julkaistava WiMAX versio 2 lisää nopeutta ja on yhteensopiva aikaisemman version kanssa. Uudempi versio on odotettavissa 2011 - 2012 /9/.

10 YHTEENVETO

WiMAX tulee olemaan erittäin houkutteleva laajakaistatekniikka sekä haja-asutusalueilla että kaupunkiolosuhteissa. WiMAX sopii moneen käyttöön, ja se ei sulje pois muita teknologioita vaan on yhteensopiva niiden kanssa, mutta kilpailevia tekniikoita on kaapelimodeemit ja DSL-yhteydet.

WiMAX perustuu IEEE 802.16-standardiin, joka julkaistiin 2002. 802.16-standardiin edelleen kehitellään korjauksia ja lisäyksiä, jotka parantavat toimivuutta. Vuonna 2012 on odotettavissa WiMAX versio 2, joka lupaa yli 100 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden liikkuville yhteyksille ja 1 Gbit/s tiedonsiirtonopeuden kiinteille yhteyksille. Tiedonsiirtonopeudeltaan WiMAX on riittävä nykyajan tarpeisiin. Yhdessä solussa tiedonsiirtonopeus tyypillisesti on 75 Mbit/s, mutta nopeampiakin yhteyksiä voidaan jossain oloissa saavuttaa.

Adaptiivinen modulaatio ottaa huomioon yhteysvälin esteellisyyden tai esteettömyyden, ja matkan tukiasemalta päätelaitteelle. Modulaatioita on yksinkertaisesta BPSK-modulaatiosta monitasoiseen 64-QAM-modulointiin. Moduloitu tieto siirretään OFDM-monikantoaalto tekniikalla, joka lähettää tietoa yhtäaikaaisesti useilla alikanavataajuuksilla.

Tiedonsiirtoon on neljä erilaista QoS-palvelua, jotka varmistavat oikeanlaisen yhteyden oikeanlaiselle tiedolle. Tiedonsiirron varmistamiseksi on FEC-tekniikka, joka korjaa vioittuneen datan. Jos FEC epäonnistuu, käytetään ARQ-

tekniikkaa, joka pyytää viallisen datan uudelleenlähetystä. Tieto on lähetyksen ajaksi turvattu avaimilla ja salakirjoituksella, jopa 256-bitin salakirjoitus on mahdollista. Radiotiellä tiedonsiirtoon käytetään TDD- tai FDD-tekniikkaa, jotka ovat duplex-pohjaisia.

On epätodennäköistä, että esteettömiä WiMAX-yhteyksiä voidaan rakentaa haja-asutusalueille ainakaan Suomessa, koska suurin osa väestöstä asuu metsän keskellä, missä puut ovat todennäköisesti haittaamassa LOS-yhteyksiä. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakkaat joutuisivat rakennuttamaan korkean antennin, jotta LOS-yhteys olisi mahdollinen. Kuitenkin WiMAXia parannellaan jatkuvasti ja älyantennien käyttö mahdollistaisi esteellisen yhteyden käytön myös paikoissa, jossa se muutoin olisi mahdotonta. Suurimmaksi ongelmaksi tulee todennäköisesti näköesteellisten yhteyksien saaminen siihen kuntoon, että mahdollisten asiakkaiden ei tarvitsisi sijoittaa lisälaitteisiin rahaa saadakseen yhteyden toimimaan.

Aiemmat langattomat MAN-standardit, kuten Euroopan HiperMAN ja Korean WiBro ovat yhdistetty WiMAXiin eivätkä enää ole kilpailijoita keskenään. Kaikki nykyiset verkot joita Koreaan pystytetään, kutsutaan WiMAXiksi. Tämä todistaa sen, että WiMAXissa on potentiaalia tulla maailmanlaajuiseksi standardiksi langattomissa laajakaistoissa.

LÄHTEET

Painetut lähteet

1. Smith, Clint & Meyer, John: 3G Wireless with WiMAX and Wi-Fi. McGraw-Hill Companies USA 2004. 234s.
2. Ahson, Syed & Mohammad, Ilyas: WiMAX Standards and Security. Taylor & Francis Group USA 2008. 262s.
3. Ahson, Syed & Mohammad, Ilyas: WiMAX Technologies, Performance Analysis and QoS. Taylor & Francis Group USA 2008. 279s.
4. Xiao, Yang: WiMAX/MobileFi Advanced Research and Technology. Taylor & Francis Group USA 2008. 423s.
5. Granlund, Kaj: Tietoliikenne. WSOY 2007. 474s.
6. Penttinen, Jyrki: Tietoliikennetekniikka, 3G ja erityisverkot. WSOY 2006. 246s.
7. Ahson, Syed & Mohammad, Ilyas: WiMAX Applications. Taylor & Francis Group USA 2008. 229s.

Sähköiset lähteet

8. <http://www.wimaxforum.org/about/member-roster> [lainattu: 22.03.10]
9. <http://www.networkworld.com/news/2010/012810-wimax-2.html?hpg1=bn> [lainattu: 22.03.10]

10. <http://computer.howstuffworks.com/wimax1.htm> [lainattu: 27.01.10]
11. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740> [lainattu: 29.01.10]
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation
[lainattu 29.01.10]
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying [lainattu: 29.01.10]
14. <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/published.html> [lainattu:
08.02.10]
15. <http://www.wimaxmaps.org/> [lainattu: 11.02.10]
16. [http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-
division_multiple_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency_division_multiple_access) [lainattu: 12.02.10]
17. <http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2002/04.html>
[lainattu 22.03.10]
18. [http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSge
neral-versionaug04.pdf](http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf) [lainattu: 22.02.10]
19. <http://www.networkdictionary.com/networking/p.php> [lainattu:
22.03.10]
20. [http://www.experiencefestival.com/a/Quadrature_amplitude_modulati
on_-_Non-rectangular_QAM/id/4693693](http://www.experiencefestival.com/a/Quadrature_amplitude_modulation_-_Non-rectangular_QAM/id/4693693) [lainattu: 22.03.10]

21. http://books.google.fi/books?id=Kvf5bdM9QIYC&pg=PA45&lpg=PA45&dq=wimax+bpsk&source=bl&ots=oGzWcZ21ZM&sig=ezi0YjjsaA9ZwojF0LloU5jArDo&hl=fi&ei=yDqnS5v0J4H6_Aa70-nuAg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CC4Q6AEwCA#v=onepage&q=wimax%20bpsk&f=false [lainattu 22.03.10]
22. http://comm.au-kbc.org/Docs/Tutorils/OFDMA_BCW_cv6.pdf
[lainattu 22.03.10]