

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokonetekniikka

Tutkintotyö

Juuso Mäkelä

WiMAX

Työn ohjaaja:
Tampere 2008

Yliopettaja Mauri Inha

Tekijä:	Mäkelä, Juuso
Työn nimi:	WiMAX
Päivämäärä:	25.11.2008
Sivumäärä:	22 sivua
Hakusanat:	WiMAX, IEEE 802.16
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietokonetekniikka
Työn valvoja:	Yliopettaja Mauri Inha
<p>Tässä työssä tutkittiin WiMAX-tekniikkaa ja työn tarkoituksena on luoda lukijalle suppea, mutta mahdollisimman kattava kuvaus WiMAX-tekniikasta ja sen sovelluksista.</p> <p>Työn toteuttamiseen käytettiin aiheeseen liittyviä kirjallisia julkaisuja sekä internetistä löytyviä materiaaleja. Työn aiheen valintaan vaikutti oma kiinnostus langattomia tiedonsiirtotekniikoita kohtaan.</p> <p>WiMAX on standardeihin perustuva langaton tiedonsiirtotekniikka ja sen yleinen standardointi tunnus on IEEE 802.16. WiMAX toimii radioaalloilla, kuten muutkin langattomat järjestelmät.</p> <p>WiMAX:n tarkoituksena on luoda vaihtoehtoinen tai kilpaileva tekniikka kaapeli- ja DSL-verkoille. WiMAX:n vahva puoli on, että se pystytään toteuttamaan myös sellaisilla alueilla jossa kaapelien vetäminen on hankalaa ja kallista. Vahvuutena verrattuna langallisiin verkkoihin on myös WiMAX:n liikkuvuudenhallinta. WiMAX ei tarvitse välttämättä näköyhteyttä tukiasemaan.</p> <p>Teoreettisesti WiMAX:n kuuluvuusalue on jopa 50 km, mutta tämä vaatii optimaaliset olosuhteet, joten todellisuudessa maksimietäisyydet liikkuvat 20-30 km luokassa. Tiedonsiirtonopeudeksi luvataan jopa 75 Mbit/s. Yhdellä solulla, eli yhden maston toiminta-alueella voidaan kattaa kymmenien toimitilojen ja jopa yli sadan kotitalouden tukeminen yhtäaikaaisesti.</p> <p>WiMAX käyttää adaptiivista modulaatiota, joten se valitsee parhaan mahdollisen modulaatiomenetelmän mm. etäisyyden perusteella. Näin sillä saadaan taattua paras mahdollinen palvelun laatu QoS.</p> <p>WiMAX on myös tietoturvan kannalta hyvä järjestelmä, koska WiMAX-laitteet voivat tukea jopa 256 bitin salausta. WiMAX-laitteet voivat käyttää tarvittaessa pienemmän bittimäärän salausta.</p> <p>Tulevaisuudessa WiMAX tulee peittoamaan langalliset järjestelmät tiedonsiirtonopeudessa WiMAX2-tekniikan myötä.</p>	

Author:	Mäkelä, Juuso
Title:	WiMAX
Date:	25.11.2008
Number of pages:	22 pages
Key words:	WiMAX, IEEE 802.16
Program:	Computer Systems Engineering
Specialization:	Computer Engineering
Supervisor:	Senior Lecturer Mauri Inha
<p>In this thesis was examined the WiMAX technology. The purpose is to create narrow but as comprehensive description about the WiMAX technology and its applications as possible.</p> <p>Implementating the thesis there was used written publications of the WiMAX and the internet documents. Own interest against wireless telecommunications affected choosing the subject of the thesis.</p> <p>The WiMAX is wireless telecommunication technique which is based on standards. The common standard is IEEE 802.16. The WiMAX works with radiowaves like other wireless systems.</p> <p>The purpose of the WiMAX is to create an alternative or challenging technique to cable or DSL networks. The WiMAX's strength is that it can be implemented in areas where assembling of cables is difficult and expensive. Strength of WiMAX, compared to the cable networks, is also mobility. WiMAX doesn't need either direct line-of-sight with base station.</p> <p>Theoretically the coverage area of the WiMAX is even 50 km, but this requires optimal conditions, so in reality the maximum coverage area is in somewhere between 20-30 km. Promised data transfer rate is even 75 Mbit/s. With one cell, which means operating area of one tower, can be supported tens of premises and over hundred households simultaneously.</p> <p>The WiMAX supports adaptive modulation, so it will choose the best possible modulation system on the basis of the distance. This way it can achieve the best possible quality of service the QoS.</p> <p>At perspective of security the WiMAX is also a good system, because the WiMAX equipments can support even 256 bit encryption. The WiMAX equipment can also use a lower bit rate encryption if necessary.</p> <p>In the future the WiMAX will beat the cable networks also in data transmission speed when the WiMAX2 will be implemented.</p>	

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty syksyllä 2008 Tampereen ammattikorkeakoulun tietokonetekniikan linjan opinnäytetyönä.

Työn tarkoituksena on selventää mikä WiMAX oikeen on. Minkälaisia tekniikosta se käyttää ja mihin itse tekniikkaa käytetään. Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen tehdä, koska aloittaessa oma tietous WiMAX:sta oli vallan vähäinen.

Kiitos kaikille opettajilleni Tampereen ammattikorkeakoulussa laadukkaasta opetuksesta ja tulevaisuuden neuvoista. Erityisesti haluaisin myös kiittää ohjaavaa opettajaani Mauri Inhaa työni ohjauksesta ja tarkastamisesta.

Tampereella 19. marraskuuta 2008

Juuso Mäkelä

SISÄLLYSLUETTELO

<u>ALKUSANAT.....</u>	<u>iv</u>
<u>SISÄLLYSLUETTELO.....</u>	<u>v</u>
<u>LYHENTEET JA SYMBOLIT.....</u>	<u>vi</u>
<u>1 JOHDANTO.....</u>	<u>1</u>
<u>2 WiMAX:n TOIMINTA.....</u>	<u>2</u>
<u>2.1 Esteetön yhteys.....</u>	<u>2</u>
<u>2.2 Esteellinen yhteys.....</u>	<u>2</u>
<u>2.3 Taajuudet.....</u>	<u>3</u>
<u>3 WiMAX TOTEUTUKSEN TEKNIKKAA.....</u>	<u>4</u>
<u>3.1 WirelessMAN-SC ja WirelessMAN-OFDM.....</u>	<u>4</u>
<u>3.2 FDD ja TDD.....</u>	<u>5</u>
<u>3.3 MAC-kerros.....</u>	<u>5</u>
<u>4 MODULAATIOMENETELMÄT.....</u>	<u>6</u>
<u>4.1 OFDM.....</u>	<u>7</u>
<u>4.2 PSK.....</u>	<u>8</u>
<u>4.3 QAM.....</u>	<u>9</u>
<u>5 PALVELUN LAATU (QoS).....</u>	<u>11</u>
<u>5.1 FEC.....</u>	<u>11</u>
<u>5.2 UGS-palvelu.....</u>	<u>12</u>
<u>5.3 RTPS-palvelu.....</u>	<u>13</u>
<u>5.4 NRTPS-palvelu.....</u>	<u>13</u>
<u>5.5 BE-palvelu.....</u>	<u>13</u>
<u>6 TIETOTURVA.....</u>	<u>14</u>
<u>7 WiMAX:n ARKKITEHTUURI.....</u>	<u>15</u>
<u>8 KÄYTTÖKOHTEET.....</u>	<u>18</u>
<u>7.1 Langaton verkko.....</u>	<u>18</u>
<u>7.2 Harvaan asutun seudun laajakaista.....</u>	<u>18</u>
<u>7.3 MAN-verkot.....</u>	<u>19</u>
<u>9 NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS.....</u>	<u>20</u>
<u>10 YHTEENVETO.....</u>	<u>22</u>
<u>LÄHDELUETTELO.....</u>	<u>23</u>

LYHENTEET JA SYMBOLIT

3DES	Data Encryption Standard, salausmenetelmä
AES	Advanced Encryption Standard, lohkosalausmenetelmä
AP	Access Point, tukiasema
ARQ	Automatic Repeat Request, uudelleenlähetysmenetelmä
BE	Best Effort, parhaan yrityksen luokka
BER	Bit Error Rate, bittivirhesuhde
BPSK	Binary Phase Shift Keying, binäärinen vaiheavainnus
CBC	Ciper Block Chaining, lohkojen ketjutus
CBR	Constant Bit Rate, tiedonsiirron tai –tallennuksen tapa
CID	Channel Identifier, yhteystunniste
FDD	Frequency Division Duplex, taajuusjakoinen dupleksointimenetelmä
FEC	Forward Error Correction, virheenkorjausmenetelmä
GSM	Global System for Mobile communications, digitaalinen matkaviestinjärjestelmä
Hot Spot	Langattoman verkon toiminta-alue
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen standartointijärjestö
LLC	Local Link Control, siirtoyhteyden ohjaus, siirtokerroksen protokolla
LOS	Line of sight, esteetön yhteys
MAC	Medium access control, kaistanvaraus
MAN	Metropolitan Area Network, alueverkko
MC	Multi Carrier, monikantoaalto
NLOS	Non-line of sight, esteellinen yhteys
NRTPS	Non Real-Time Polling Service, Ei-realiaikainen palvelu
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, monikantoaaltomodulointi
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association, kannettavien tietokoneiden laajennuskorttipaikka
PMP	Point to MultiPoint, monipisteyhteys
Polling	Kiertokysely

PS	Physical Slot, fyysinen aikaväli
PSK	Phase Shift Keying, vaiheavainnus
PtP	Point to Point, kaksipisteyhteys
QAM	Quadrature amplitude modulation, modulointimenetelmä
QoS	Quality of Service, palvelun laatu
QPSK	Quadrature phase shift keying, nelivaiheinen vaiheavainnus
RAN	Radio Access Network, radiojärjestelmä
RSA	Epäsymmetrinen julkisen avaimen salausalgoritmi
RTPS	Real-Time Polling Service, reaaliaikainen palvelu
SC	Single Carrier, kantoaalto
SS/MSS	Mobile Subscriber Station, liikkuvan käyttäjän laite
SNR	Signal-to-Noise Ratio, signaalikohinasuhde
TDD	Time Division Duplex, aikajakoinen dupleksointimenetelmä
UGS	Unsolicited Grant Service, parhaan suorituskyvyn mahdollistama palvelu
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, 3G matkapuhelinteknologia
VoIP	Voice over Internet Protocol, puhelu internetin välityksellä
VSAT	Very Small Aperture Terminal, satelliittijärjestelmän yhteyksiin käytettävä päätelaite
WiFi	Wireless Fidelity, langattoman lähiverkon toteutus
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
WLL	Wireless Local Loop, radiolinkkitoteutus

1 JOHDANTO

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) on langaton laajakaistatekniikka, joka perustuu IEEE 802- sarjan avoimeen 802.16 standardiin. Ideana on muodostaa langaton yhteys käyttäjän järjestelmästä operaattorin tukiasemaan. Teoreettinen kuuluvuus voi optimaalisissa olosuhteissa olla jopa 50 km. Käytännössä kolmenkymmenen kilometrin ylittäminen lienee kuitenkin epävarmaa ja yhteydet yli 20 km etäisyyksillä vaativat toimiakseen näköyhteyden tukiasemaan [7].

WiMAX-verkossa siirtonopeus vaihtelee yhteyden pituuden mukaan, ja etäisyyden ollessa alle 8 km, voidaan saavuttaa jopa 75 Mbit/s siirtonopeus. Maksimietäisyydellä nopeus voi olla jopa vain 17 Mbit/s.

WiMAX Forum omistaa WiMAX-tavaramerkin ja valvoo sitä käyttävien laitteiden yhteensopivuutta. Siihen kuuluu nykyään yli 520 yritystä ympäri maailmaa. Siihen kuuluvat esimerkiksi johtokunnassa olevat Alcatel-Lucent, AT&T, Fujitsu, Intel, Motorola, Nokia ja Samsung. Suomalaisista yrityksistä mukana ovat myös Elektrobit, NetHawk, Nokia Siemens Networks ja TeliaSonera [3]. WiMAX Forumin sertifikaattitestin läpäissyt laite pystyy 40Mb/s tiedonsiirtonopeuteen. Yksi tukiasema voi kuitenkin tarjota 75Mb/s tiedonsiirtonopeuden.

Alun perin WiMAX määriteltiin kiinteitä (*fixed*) yhteyksiä varten, mutta myöhemmin tullut versio IEEE 802.16e sisältää menetelmiä myös liikkuvuuden hallintaan, ja se tukee siten siirrettävää (*portable*) ja liikkuvaa (*mobile*) yhteysmenetelmää [7].

2 WiMAX:n TOIMINTA

Periaatteessa WiMAX toimii samalla tavalla kuin WiFi (*Wireless Fidelity*). Suurimpina eroina ovat nopeammat yhteydet, laajemmat kantoalueet ja suuremmat käyttäjämäärät [2]. WiMAX järjestelmä koostuu useasta solusta. Yksi solu sisältää käytännössä kaksi osaa: WiMAX tukiasema BS (*Base Station*), jonka peittoalue on noin 8 neliökilometriä, ja WiMAX päätelaite SS (*Subscriber Station*). Päätelaite voi olla erillinen modeemi, PCMCIA-kortti tai sisäänrakennettu lähetin vastaanotin.

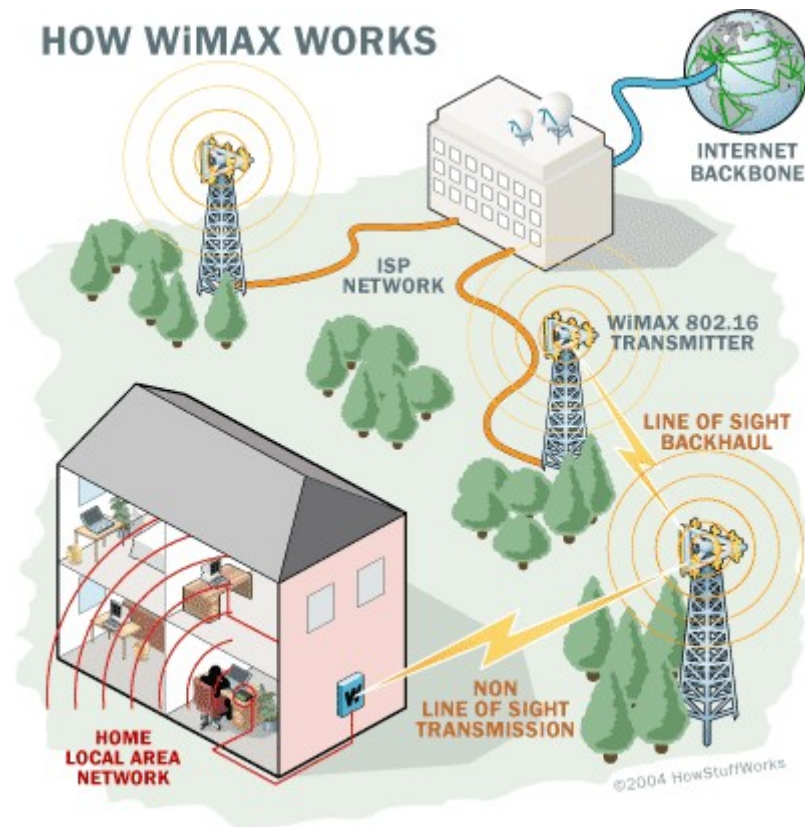
2.1 Esteetön yhteys

Esteetön yhteys eli LOS (*line of sight*) on toteutettu niin, että talon katolla tai vaihtoehtoisesti lähetintornissa oleva lautasantenni on suunnattu suoraan WiMAX-tornia kohti (kuva 1). Tällainen yhteys on vahvempi sekä vakaampi, joten sen kautta pystyy lähettämään enemmän tietoa pienemmällä virhemarginaalilla.

LOS-yhteys käyttää korkeita taajuuksia ja ylittää jopa 66 GHz taajuuteen. Korkeilla taajuuksilla on vähemmän häiriötekijöitä sekä huomattavasti enemmän kaistaa käytettävänä.

2.2 Esteellinen yhteys

Esteellinen yhteys eli NLOS (*non-line of sight*) toimii käytännössä niin, että tietokoneessa oleva antenni ottaa yhteyden WiMAX-torniin (kuva 1). Tässä yhteysmuodossa WiMAX käyttää alemmaa taajuusaluetta 2-11 GHz, joka on sama jota WiFi käyttää. Fyysiset esteet eivät häiritse eivätkä katkaise alhaisen taajuuden lähetyksiä niin helposti kuin korkean taajuuden lähetyksiä.



Kuva 1. LOS- ja NLOS-yhteys [2].

2.3 Taajuudet

Varsinaisen WiMAX:n määrittävä versio on IEEE 802.16-2004, tai virallisemmin 802.16 REVd, ja se on tarkoitettu nimenomaan kiinteään käyttöön ja toimimaan taajuusalueella 10-66 GHz. WiMAX:iin liitetty lisäys IEEE 802.11a mahdollistaa liikennöinnin myös 2-11 GHz:n taajuuksilla [7].

Liikkuvia laitteita tukeva standardi IEEE 802.16e määrittelee yhteydet 2-6 GHz:n taajuuksille, ja Suomessa käytetään WiMAX liikenteessä 3,5 GHz:n taajuuksia [9].

3 WiMAX TOTEUTUKSEN TEKNIKKAA

Suositus IEEE 802.16 jakaa tiedonsiirron kahteen pääkategoriaan, joista ensimmäinen perustuu SC-tekniikkaan (*Single Carrier*) ja toinen OFDM-tekniikkaan. Ensimmäisestä käytetään nimitystä WirelessMAN-SC ja toisesta WirelessMAN-OFDM. Näiden lisäksi käytetään suositusta IEEE 802.16e, joka käyttää taajuusalueita 2-11 GHz sekä yhdellä kantoaallolla että OFDM-tekniikalla [9]. Kolmantena kategoriana on WirelessHUMAN (*High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network*) ja se perustuu MC (*Multi Carrier*)-tekniikkaan ja sitä käytetään lisensseistä vapailta taajuusalueilla. Näin ollen operaattorit voivat käyttää tekniikkaa ilman lisenssimaksuja. Se ei tue FDD:tä ja siinä OFDM käyttää jopa 2048 alikanavaa samalla taajuusalueella verrattuna perinteisen OFDM:n 256 alikanavaan.

3.1 WirelessMAN-SC ja WirelessMAN-OFDM

WirelessMAN-SC ratkaisu on tarkoitettu yhteyksiä varten, joissa on laitteiden välillä näköyhteys (LOS) sekä liikennöinti tapahtuu 10-66 GHz:n alueella. Kaistanleveydet ovat tässä ratkaisussa 25 tai 28 MHz ja topologia voi olla joko PtP tai PMP. Modulointimenetelminä käytetään niin ylä- kuin alavirtaan QPSK-, 16 QAM- ja 64 QAM-modulointeja.

WirelessMAN-OFDM kategorian siirtoa käytetään taajuuksilla alle 11 GHz, ja se soveltuu sekä esteettömälle (LOS) että esteelliselle (NLOS) yhteydelle. OFDM jakaa siirtokaistan 256 alikanavaan, joista 200 käytetään datan siirtoon ja loput ovat käyttämättömiä tai tarkkailukanavia. Käytetyn kaistan leveys voi vaihdella 1,25 MHz:stä 28 MHz:iin asti siten, että se on jaollinen joko 1,25, 1,5, 1,75 tai 2,0 MHz:n kaistoilla [7].

3.2 FDD ja TDD

WiMAX-radiotiellä datan siirto tapahtuu joko FDD- tai TDD-tekniikalla kuitenkin siten, että lisenssivapaalla taajuusalueella (5,150-5,875 GHz) toimivat järjestelmät käyttävät pelkästään TDD-tekniikkaa [1]. Tekniikasta riippumatta sekä ylä- että alavirtaan käytetään kehyksiä joiden kesto on 0,5, 1 tai 2 ms. Kehys sisältää kaksi alikehystä, joista ensimmäinen siirtyy alavirtaan ja toinen ylävirtaan siten, että TDD-tekniikalla alavirtaan siirtyvää kehystä seuraa ylävirtaan siirtyvä kehys. FDD-tekniikalla kehykset siirtyvät samanaikaisesti. Jokainen alikehys muodostuu fyysisistä aikaväleistä PS (*Physical Slot*), ja bittien määrä / PS määrittelee yhteyden siirtonopeuden.

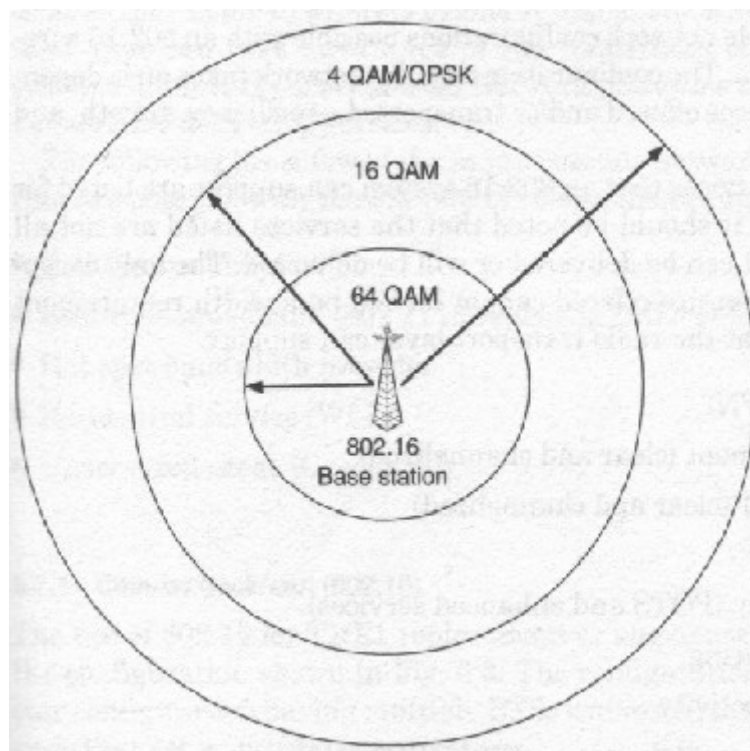
3.3 MAC-kerros

MAC-kerros on osa siirtoyhteyskerrosta. Se sijaitsee LLC-kerroksen alapuolella, ja sen tehtävänä on huolehtia kanavanvarauksesta sellaisissa sovelluksissa, joissa useampi osapuoli jakaa saman siirtovälineen [9]. Sen tehtäviin kuuluu myös tarjota välitasosta riippumaton rajapinta fyysiselle kerrokselle ja sovituserrokselle. MAC-kerros on suunniteltu tukemaan PMP-laajakaistasovelluksia.

MAC-kerros huolehtii päätelaitteen (SS) verkkoon liittymisestä ja poistumisesta. WiMAX:ssa liityttäessä verkkoon jokainen päätelaite muodostaa yhden tai useamman yhteyden, jonka kautta tieto kulkee tukiasemaan. MAC-protokolla suorittaa resurssien jaon sekä määrittää palvelun laadun (QoS). Se tarkkailee bittivirhesuhdetta (BER) ja suorittaa automaattisen uudelleenkyseilyn (ARQ) tarvittaessa.

4 MODULAATIOMENETELMÄT

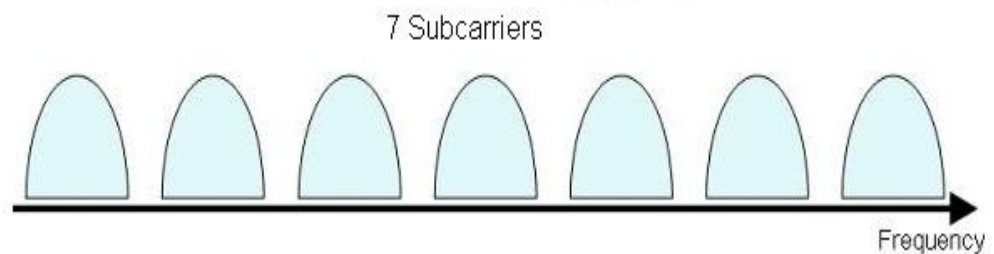
Modulaatiomenetelmät ovat keinoja lähettää tietoa siirtotien välityksellä. Moduloinnilla siirrettävä tieto sovitetaan siirtotielle. WiMAX käyttää adaptiivista modulaatiota. Adaptiivinen modulaatio toimii niin, että se antaa verkon valita parhaan mahdollisen modulaatiotekniikan. Modulaatiotekniikka määräytyy etäisyyden mukaan. Mitä kauemmaksi tukiasemasta siirrytään, niin sitä alemmaksi siirrytään modulaatiotasolla (kuva 2). Korkeampiarvoisilla modulointimenetelmillä on paremmat häiriönsietokyvyt ja suuremmat tiedonsiirtonopeudet, mutta pienemmät kuuluvuusalueet [8]. Tiedonsiirtonopeuteen vaikuttaa modulaatiotavan lisäksi myös taajuuskanavan suuruus. Mitä suurempi on taajuuskanava, niin sitä suurempi on tiedonsiirtonopeus.



Kuva 2. Adaptiivinen modulaatio [8].

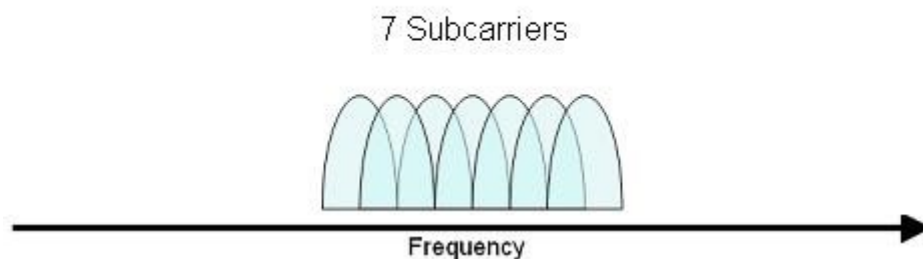
4.1 OFDM

WiMAX-järjestelmä pohjautuu OFDM-monikanta-aaltotekniikkaan. OFDM sietää varsin hyvin yhteysvälin ongelmia, joten tekniikan avulla WiMAX toimii myös osittain NLOS-ympäristössä [7]. OFDM:ssä data on jaettu useille kanta-aalloille (kuva 3), jolloin kullakin kanta-aallolla lähtevä bitti on taajuudeltaan kapeampi, mutta ajallisesti pidempi. Täten se vastustaa paremmin impulssimuotoisia häiriösignaaleja.



Kuva 3. Seitsemän kanta-aaltoa [4].

OFDM tiivistää moduloidut signaalit tiiviisti yhteen (kuva 4), jolloin kaistanleveyden tarve vähenee. Moduloidut signaalit ovat ortogonaalisia eli yhden signaalin taajuuden ollessa keskikohdassa, muiden signaalien amplitudi on nollassa. Näin ollen signaalit eivät vaikuta toisiinsa häiriöllisesti.



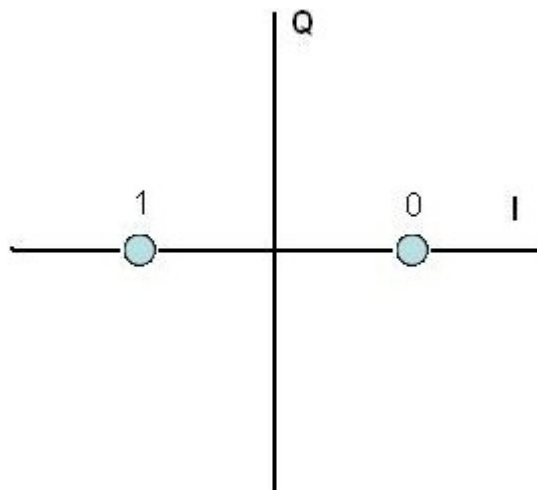
Kuva 4. Seitsemän kanta-aaltoa tiivistettynä yhteen [4].

OFDM:ssä multiplekseri välittää datavirrat lähettimen modulaattoriin joka muuntaa datavirtojen digitaalisen informaation analogiseksi signaaliksi, jotta datavirrat voitaisiin siirtää rinnakkaisina. Vastaanottavassa päässä demodulaattori ja demultiplekseri huolehtivat tulevien analogisten signaalien muuntamisesta alkuperäisten datavirtojen muotoon [9].

4.2 PSK

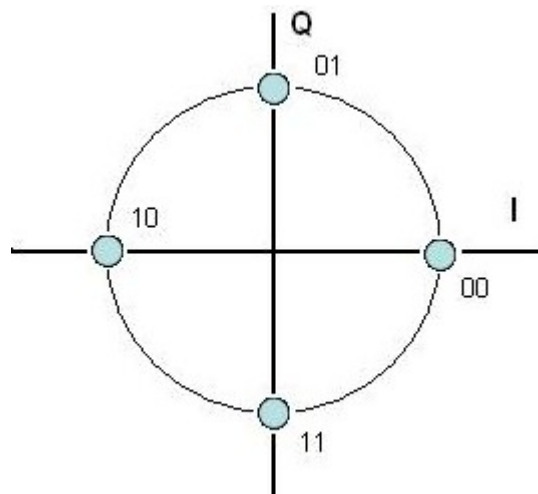
Vaiheavainnus eli PSK (*Phase Shift Keying*) kuuluu eksponentiaalisten modulaatiomenetelmien luokkaan. Vaihemoduloinnissa moduloiva signaali, muuttaa kanta-aallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. Digitaalisessa vaihemoduloinnissa on päätettävä, mitä vaihetta käytetään millekin binäärisen symbolin arvolle.

BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) eli binäärinen vaiheavainnus käyttää kahta kanta-aallon vaihetta ilmaisemaan binäärisen viestin arvon. Määritellään esimerkiksi vaihe nolla astetta merkitsemään viestin arvoa 0 ja +180 astetta merkitsemään viestin arvoa 1 (kuva 5).



Kuva 5. BPSK [5].

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) eli nelivaiheinen vaiheavainnus käyttää neljää kanta-aallon vaihetta, esimerkiksi 0, +90, +180, +270 astetta, ja voi ilmaista neljä numeroarvoa, 0-3, kahdella bitillä (00, 01, 10, 11) (kuva 6).

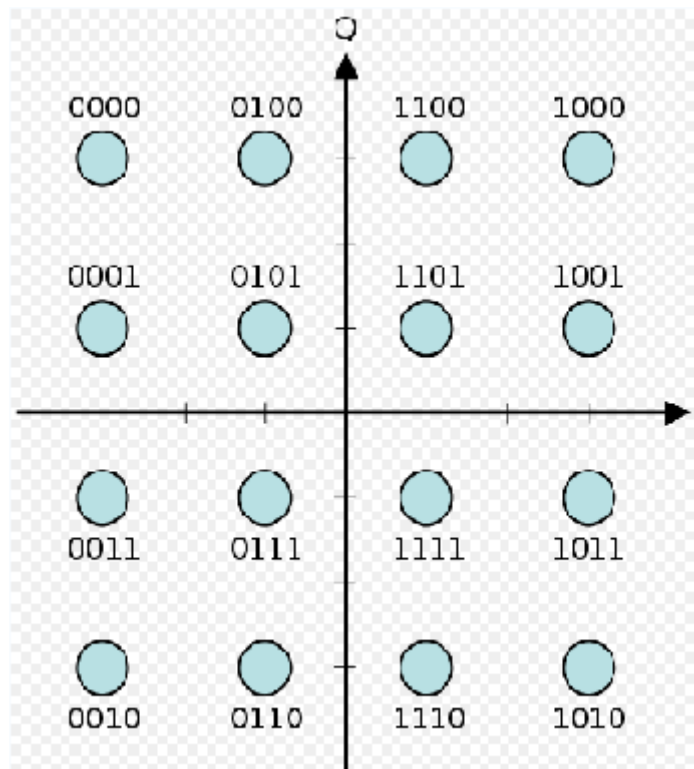


Kuva 6. QPSK [5].

4.3 QAM

QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) on moduloittekniikka, joka yhdistää PM (*Phase Modulation*) –moduloinnin ja AM (*Amplitude Modulation*) – moduloinnin.

16-QAM:ssa (kuva 7) on 16 eri tilaa joilla voidaan esittää neljä bittiä. Kuvan 7 jokainen piste määrittelee aallon oman amplitudin ja vaiheen. Kuvassa 7 on esitetty helpommin demoduloitavissa oleva matriisi QAM. On olemassa myös kehämäinen QAM-menetelmä, jolla saavutetaan parempi bittivirhesuhde (*Bit Error Rate*, BER), mutta se on vaikeampi moduloida ja demoduloida.



Kuva 7. 16-QAM [6].

QAM-modulaatiosta on myös kattavampia modulaatioyhdistelmiä, kuten esimerkiksi 64-QAM ja 256-QAM. 64-QAM:ssa on esitetty kahdeksan amplitudia ja kahdeksan vaihe-eroa ja 256-QAM:ssa amplitudeja ja vaihe-eroja on 16. Mitä suurempinumeroiseksi QAM menee sitä parempi tulee olla sekä signaali-kohonasuhteen (*Signal-to-Noise Ratio*, SNR) että bittivirhesuhteen (BER).

5 PALVELUN LAATU (QoS)

WiMAX:n MAC-tekniikka tarjoaa erilaisia palvelun laatuja erilaisille sovelluksille niiden tarpeiden mukaan. Modulaatiotapa voidaan muuttaa optimaalisen datansiirron saavuttamiseksi. Modulaatiotapoina ovat käytössä QAM, 16-QAM, 64-QAM, QPSK ja BPSK. Adaptiivinen modulaatio sallii kaistanleveyden tehokkaan käytön ja näin ollen laajemman käyttäjämäärän [7].

5.1 FEC

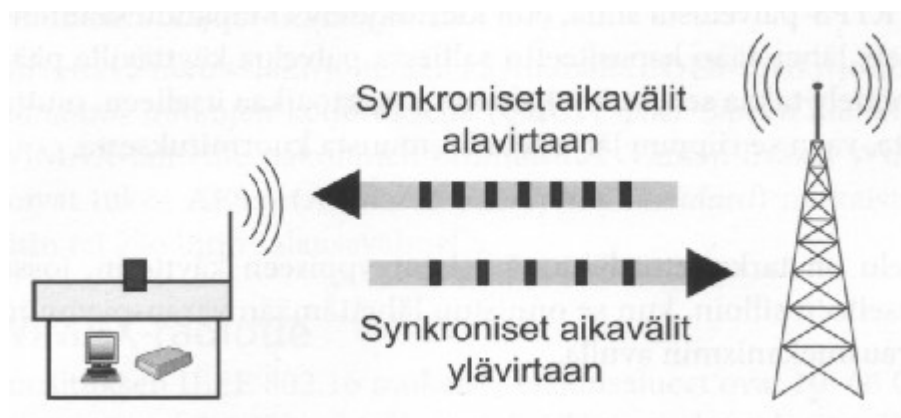
FEC (*Forward Error Correction*) tarkoittaa kaikkia niitä menetelmiä, joissa vastaanottaja korjaa siirtovirheen sanoman mukana tulevilla tiedoilla. FEC-menetelmät kuuluvat fyysisen kerroksen ratkaisuihin, ja niiden avulla pyritään alentamaan yhteyden vaatimaa signaali/kohina (*S/N ratio*)-suhdetta, jolloin tarvittavat lähetystehot pienenevät [9].

FEC-tekniikat eivät kuitenkaan takaa virheetöntä siirtoa, mutta niiden avulla voidaan parantaa läpimenoa eli nostaa bittivirhesuhdetta (BER). Jos virheiden havaitsemiseksi käytössä on esimerkiksi jakojäännöstarkisteita, niin voidaan virheelliset sanomat pyytää uudestaan (*Automatic Repeat Request*, ARQ). Tähän WiMAX tarjoaa kahta eri menetelmää.

Ensimmäinen perustuu sanomanumeroihin (*Sub Packet Identifier*, SPID), joiden avulla voidaan käyttää liukuvan ikkunan menetelmää selektiivisellä negatiivisella kuittauksella SREJ (*Selective REject*) [8]. Toisena mahdollisuutena on käyttää HARQ-tekniikkaa (*Hybrid Automatic Repeat Request*), joka toimii Stop-And-Wait-periaatteella.

5.2 UGS-palvelu

Palvelu takaa datan siiron vakionopeudella yhdelle kanavalle/yhteydelle kiinteänmittaisilla datasanomilla. Tällaisesta palvelusta käytetään nimitystä CBR (*Constant Bit Rate*) [9]. Mikäli päätelaite haluaa lisää siirtokapasiteettiä niin se ilmoittaa siitä tukiasemalle sanoman sisältämällä poll-me-bitillä. Sanomissa on myös toinen tieto ns. slip-bitti, jolla vastaanottaja kertoo lähettäjälle, että puskurit ovat tyhjentymässä. Vakionopeudella toimivassa datan siirrossa puskurien tyhjeneminen aiheuttaa bittivirran pysähtymisen, ja tällöin synkroninen siirto ei olisi mahdollista (kuva 8). Puskurien tyhjeneminen voidaan estää varaamalla seuraava aikaväli hieman suunniteltua aikaisemmin.

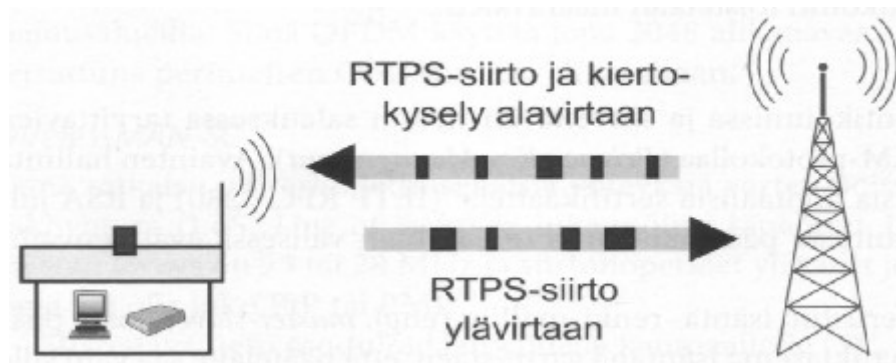


Kuva 8. UGS-palvelun synkroninen siirto [9].

UGS-palvelussa kanavan siirtonopeus saadaan laskettua aikavälien lukumäärä / aikayksikkö kertomalla aikavälin databittien määrällä [9]. Esimerkiksi jos siirretään 32 bittiä ja sekunnissa sama kanava saa käyttöönsä 32 aikaväliä niin sen siirtonopeus on 1024 kbit/s.

5.3 RTPS-palvelu

Tämäntyyppinen palvelu tukee vaihtelevanmittaisten sanomien siirtoa kiinteällä palvelunopeudella. RTPS-palvelu perustuu kiertokyselyyn, ja se lähettää säännöllisesti kyselysanomia (poll) päätelaitteille (kuva 9). Samalla se voi lähettää päätelaitteille menevää tietoa. Palvelu antaa päätelaitteille siirtoaikaa määrävälein, joka mahdollistaa isokronisen eli lähes synkronisen palvelun. Kanavalla tapahtuva siirto ei pysty UGS-palvelun tavoin bittitasoiseen vakionopeuteen, mutta pienillä vaihteluilla kelloriippuvuus voidaan säilyttää.



Kuva 9. RTPS-palvelun siirto [9].

5.4 NRTPS-palvelu

NRTPS-palvelu poikkeaa RTPS-palvelusta siinä, että kiertokysely ei tapahdu määrävälein, vaan kysely lähetetään kapasiteetin salliessa palvelua käyttäville päätelaitteille eli datan siirto ei ole aikakriittistä. Tällä menettelytavalla jokaiselle riittää siirtoaikaa, mutta datan virtaus ei ole tasaista, vaan riippuu järjestelmän muusta kuormituksesta.

5.5 BE-palvelu

BE-palvelu on tarkoitettu sellaisia sovelluksia varten, joille ei ole määriteltyä palvelutasoa (esim. selaintyyppiseen käyttöön). Palvelu käyttää jäljelle jääneen siirtoajan eli päätelaite saa aikaa itselleen silloin, kun se onnistuu lähettämään varauspyynnön tukiasemalle kilpavarausmekanismin avulla.

6 TIETOTURVA

WiMAX sisältää tietoturvakerroksen (*security sublayer*), jonka tehtävänä on huolehtia avainten hallinnasta, autentikoinnista ja linjalla siirtyvän tiedon kryptauksesta. Turvallisuuksot määritellään kunkin yhteyden kohdalla erikseen silloin, kun yhteys muodostetaan [9].

Jokainen päätelaite sisältää valmistajan myöntämän yksilöllisen X.509-sertifikaatin, joka sisältää päätelaitteen julkisen avaimen sekä sen MAC-osoitteen. Autentikoinnin alussa päätelaite lähettää sertifikaattinsa tukiasemalle, joka joko hyväksyy tai hylkää sen. Sertifikaatin saatuaan tukiasema lähettää välittömästi AR (*Authorization Request*)-sanoman, joka sisältää sertifikaatin lisäksi tiedot tukiaseman tukemista salausmenetelmistä sekä ensimmäisen yhteyden tarvittavan yhteystunnisteen (*Channel Identifier*, CID). Jos tukiasema hyväksyy päätelaitteen, niin se vastaa lähettämällä valtuutusavaimen kryptattuna päätelaitteen salaisella avaimella, ja päätelaite taas avaa kryptatun tiedon omalla salaisella avaimella. Päätelaitteen autentikointi toistetaan tietyin väliajoin.

Autentikoinnissa ja siirrettävän tiedon salauksessa päätelaite käyttää tarvittavien avainten hallintaan PKM (*Privacy Key Management*)-protokollaa. Avainten hallinta käyttää X.509:n mukaisia digitaalisia sertifikaatteja (IETF RFC 3280) ja RSA julkisen avaimen salakirjoitusta päätelaitteen ja tukiaseman välisessä avaintenvaihdossa [9]. PKM-protokolla käyttää RSA-pohjaista salausalgoritmia, kun ensimmäisen kerran muodostetaan yhteinen tunnistautumisavain (*Authorization Key*, AK). Tätä avainta käytetään jatkossa dataliikenteen salauksessa käytettävien avainten (*Traffic Encryption Key*, TEK) vaihtoon.

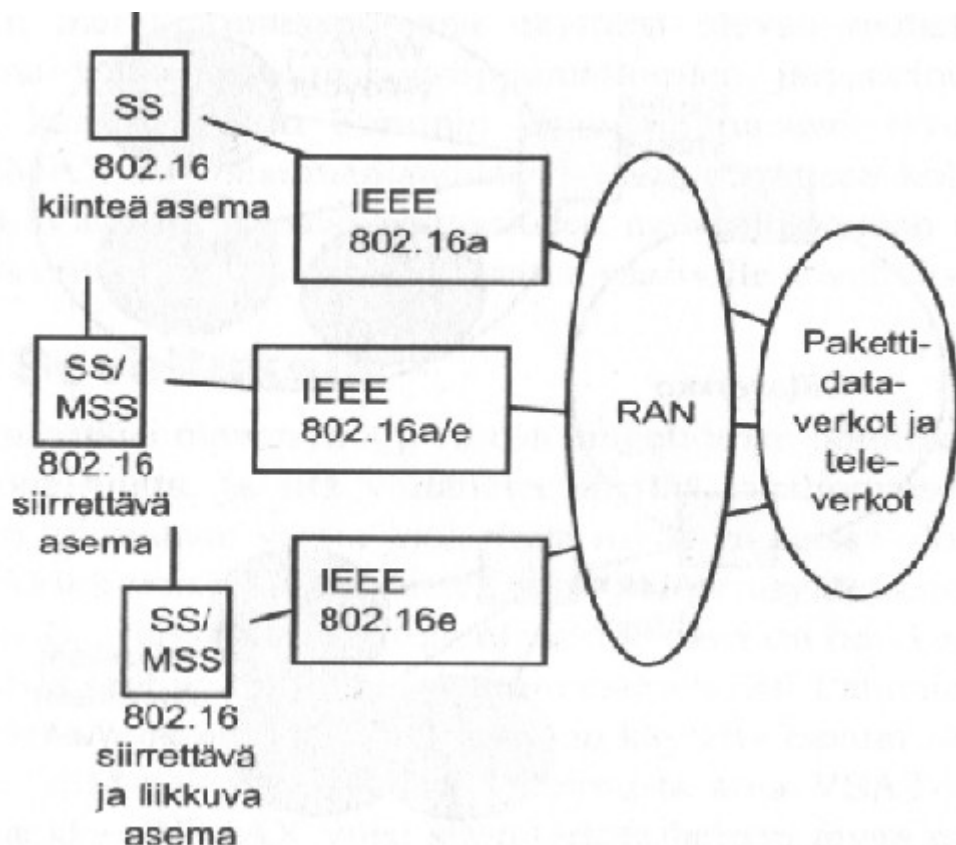
WiMAX:ssa tieto kryptataan käyttämällä 3DES (*Data Encryption Standard*)-kryptausta lohkojen ketjutuksella (*Cipher Block Chaining*, CBC). Kyseinen menetelmä on kaikille WiMAX-laitteille pakollinen ominaisuus.

Edellä mainitun ominaisuuden lisäksi WiMAX-verkon laitteet voivat tukea AES (*Advanced Encryption Standard*) mukaista salausalgoritmia 128 bitin tai 256 bitin salausavaimella [7].

7 WiMAX:n ARKKITEHTUURI

WiMAX on suunniteltu siten, että se mahdollistaa aiempien WLAN-verkkojen tavoin hot-spot-peittoalueet. WiMAX:n peittoalueet voivat yhdessä Wi-Fi-solujen kanssa olla osa esimerkiksi GSM- ja UMTS-peittoaluetta siten, että WiMAX-soluja käytettäessä palveluihin on mahdollista kytkeytyä nopeilla yhteyksillä [7].

WiMAX arkkitehtuuri koostuu kolmesta päälohkosta (kuva 10): 802.16 SS/MSS (*Mobile Subscriber Station*) eli käyttäjä, 802.16 RAN (*Radio Access Network*) eli radiojärjestelmä ja muiden verkkojen kytkemiseen vaadittava rajapinta (*Interoperability, I*). Käyttäjät kytkeytyvät WiMAX-järjestelmään ilmatiellä tukiasemien kautta, joita kutsutaan nimellä AP (*Access Point*).

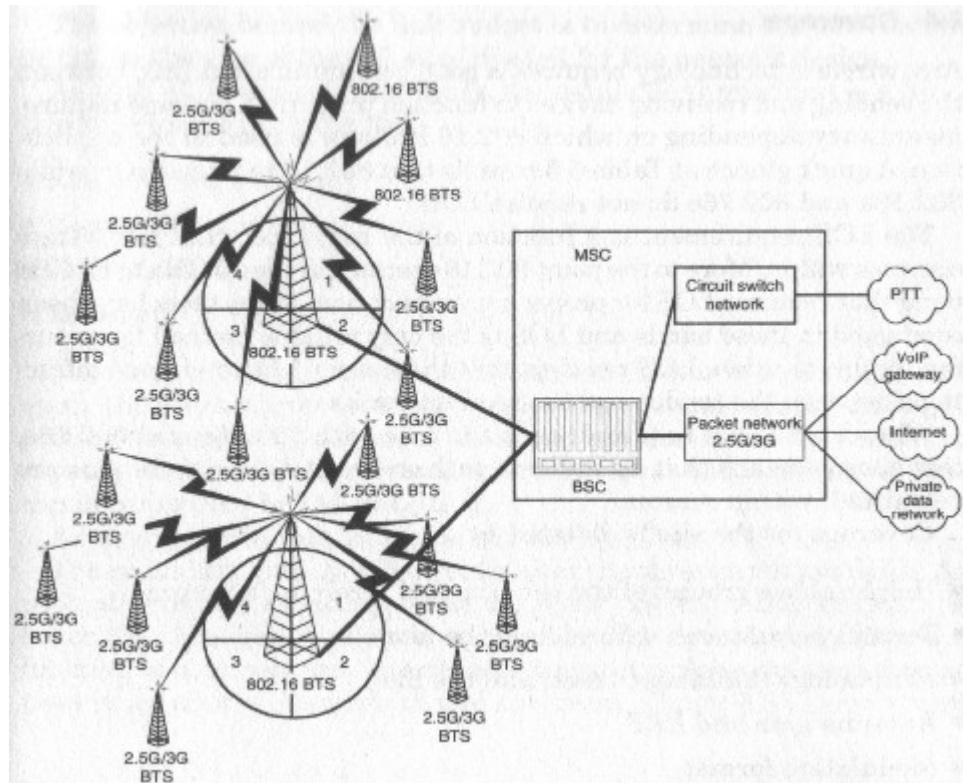


Kuva 10. WiMAX arkkitehtuuri ja sen toteutuksen versiot [7].

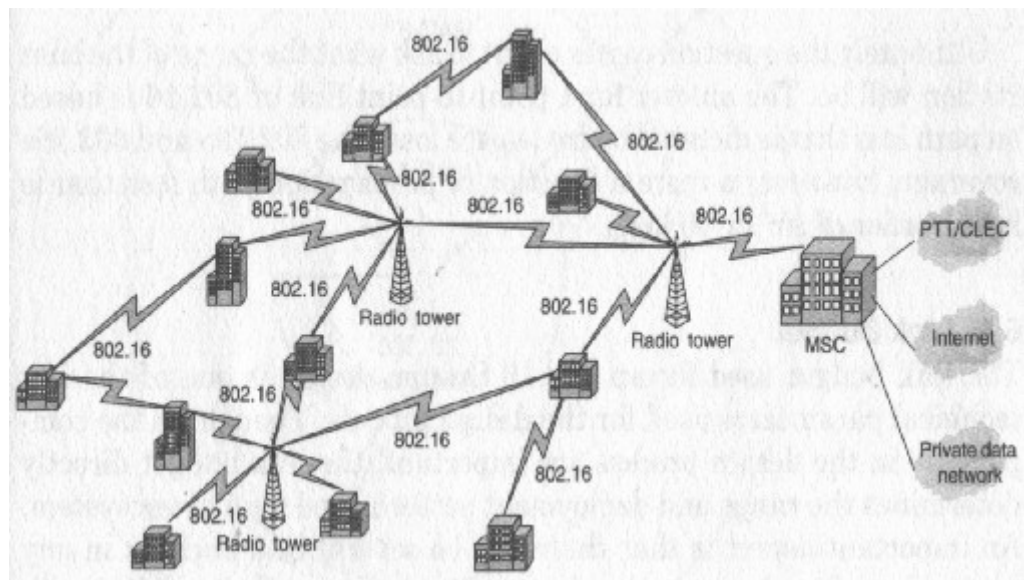
Tietoverkon topologialla tarkoitetaan tapaa, jolla verkon laitteet kytketään toisiinsa. Yksinkertaisimmillaan topologia muodostuu kahdesta laitteesta ja niitä yhdistävästä siirtotiestä [9].

WiMAX:n topologiat voidaan jakaa kahteen pääryhmään: kaksipisteyhteys (*Point to Point*, PtP) ja monipisteyhteys (*Point to MultiPoint*, PMP). Kaksipisteyhteys muodostuu nimensä mukaisesti kahdesta laitteesta ja niitä yhdistävästä siirtotiestä. Yksinkertaisuudestaan huolimatta tämä topologia sisältyy osana kaikkiin laajaverkkoihin kuten esimerkiksi WiMAX, koska laajaverkko muodostuu siinä olevien reitittimien välisistä kaksipisteyhteyksistä. Monipisteyhteydet muodostavat monimutkaisempia topologioita, jossa tukiasema palvelee useampia käyttäjiä ja myös WiMAX:n suosituksen IEEE 802.16e mukaista liikkuvaa käyttäjää.

WiMAX-verkkototeutus voidaan tehdä monella tavalla, esimerkiksi käyttämällä WiMAX:ia osana transmissioverkon toteutusta. Yhtä hyvin WiMAX-peittoalueet voivat olla yhtenä kerroksena GSM/UMTS/Wi-Fi-järjestelmien palvelualueilla. Topologian valinta riippuu useasta tekijästä. Näitä ovat muun muassa käytettävissä oleva spektri, tarvitta kapasiteetti, tarjottavat palvelut ja maaston asettamat rajoitteet. Kaksi ensisijaista topologiaa ovat tähtikytkentä tai hajautetun hallinan kytkentä. Kuvassa 11 esitetty tähtikytkentä havainnollistaa 2,5G- tai 3G-tekniologiaa käyttävää langatonta liikkuvuudenhallintaverkkoa. Kuvassa 12 on taas esitetty hajautetun hallinan kytkentä, jota usein käytetään tukemaan 802.11 Wi-Fi-tukiasemia.



Kuva 11. Tähtikytkentä [8].



Kuva 12. Hajautetun hallinnan kytkentä [8].

Jokaisella topologialla on edut ja haitat. Tähtikytkentä pystyy tukamaan suurempaa kapasiteettia (Mbps/Km²), kuin hajautetun hallinnan kytkentä. Hajautetun hallinnan kytkentä sallii taas nopeamman levittäytymisen eikä se kuormita pääverkon solua, joka keskittyy liikenteenohjaukseen [8].

8 KÄYTTÖKOHTEET

WiMAX-tekniikan on tarkoituksena on tarjota käyttäjille liikkennöintinopeuksiltaan nykyisiä kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä vastaava langaton verkkoyhteys, jonka käyttö ei ole sidoksissa esimerkiksi rakennuskohtaisiin rajoitteisiin. Käytännössä WiMAX:n toimintaa voidaan verrata WLAN-verkkoon, mutta sen toiminta-alue on huomattavasti suurempi [7].

WiMAX-masto voidaan yhdistää toiseen mastoon näköyhteydellisesti esimerkiksi lautasantennin välityksellä, jolloin saadaan luotua laajakaistayhteys kahden maston välille. Näin ollen vanhoja mastoja hyväksi käyttäen langattoman verkon luominen on huomattavasti nopeampaa kuin langallisten verkkojen luominen, mikäli käytössä ei ole valmiiksi vedettyjä piuhoja. Suuri osa Euroopan mobiilimastoista on kytketty juuri näin toisiinsa.

7.1 Langaton verkko

Suomessa on tällä hetkellä noin 15 operaattoria, jotka ovat ottaneet tai ovat ottamassa WiMAX-verkkoja käyttöön. Maantieteellisesti nämä verkot sijoittuvat joka puolelle Suomea, mutta suurin osa verkoista sijoittuu haja-asutusalueille. Myös joissakin kaupungeissa on otettu käyttöön WiMAX-verkko, kuten esimerkiksi Kajaanissa, Savonlinnassa, Mikkelissä ja Espoossa. Näissä kaupungeissa olevan WiMAX-verkon versio on 802.16d, joka ei tue liikkuvuuden hallintaa. Suomessa ei tällä hetkellä ole muutenkaan WiMAX-liikkuvuuden hallintaa tukevaa 802.16e-verkkoa.

7.2 Harvaan asutun seudun laajakaista

WiMAX sopii hyvin laajakaistayhteyksien tarjoamiseen harvaan asutuille seuduille laajan kantoalueensa sekä langattomuutensa takia. Tämä siksi, koska näille alueille valokuidun ja kuparikaapelin vetäminen olisi hankalaa sekä kallista. WiMAX järjestelmien rakentamisen kustannuksia vähentää mm. se, että voidaan käyttää jo valmiiksi pystytettyjä radiomastoja.

WiMAX sopii myös syrjäisten seutujen perusyhteyksien toteuttamiseen alueilla, missä yleinen teleinfrastruktuuri on heikko tai olematon. Tällaisia alueita on paljon esimerkiksi Latinalaisen Amerikan, Afrikan ja Aasian maissa, joissa aiemminkin on käytetty erikoisratkaisuita kuten esimerkiksi GSM-pohjaisia yleisöpuhelimia ja VSAT-satelliittiyhteyksiä [7]. Tällaisilla alueilla WiMAX:n käytön kasvu on ollutkin suurempaa kuin esimerkiksi Suomessa. Palveluina voidaan tarjota muun muassa Internet-yhteyksiä ja IP-pohjaisia VoIP-puheluita.

7.3 MAN-verkot

WiMAX-tekniikkaa voidaan käyttää hyväksi haja-asutusalueiden lisäksi kokonaisten kaupunkialueiden MAN-verkkojen toteuttamiseen. Tällaisella verkkoalueella voidaan hyödyntää WiMAX:n liikkuvuuden hallintaa, jossa käyttäjä voi liikkua solusta toiseen yhteyden katkeamatta.

Liikkuvuuden hallinnan hyödyntämisestä yhtenä esimerkkinä on siirtyminen kotoa työpaikalle yhteyden katkeamatta niin, että valittuna on jatkuvasti paras mahdollinen yhteys. Kotona päätelaite on kytketty WLAN:n kautta Internetiin, matkalla töihin pääte hyödyntää liikkuvuuden hallintaa tukevaa WiMAX MAN-verkkoa ja työpaikalla pääte kytkeytyy siellä olevaan WLAN-verkkoon.

Suomen ensimmäinen WiMAX-kaupunkiverkko pystytettiin Turkuun vuoden 2005 lopulla testikäyttöön ja vuoden 2006 lopulla se avattiin yleiseen käyttöön.

9 NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS

WiMAX vaikuttaa erittäin varteeotettavalta tekniikalta. Se laajentaa langattomien lähiverkkojen toiminta-aluetta, bittinopeutta ja liikkuvuutta, koska se tukee muita matkaviestinjärjestelmiä, kuten esimerkiksi kolmannen sukupolven järjestelmiä [7].

WiMAX-verkkojen tekniikan rajoja voidaan laajentaa esimerkiksi älyantennien avulla, koska WiMAX-tekniikan kehitystyössä on otettu huomioon älyantennien tuki. Yhtenä älyantennien ja WiMAX:n yhteiskäytön esimerkkinä on tavanomaiseen WiMAX-yhteyteen saatava lisävahvistus. Tätä lisävahvistusta voidaan hyödyntää esimerkiksi siirrettäessä antenni sisätiloihin sääolosuhteiden pakottaessa, jolloin älyantenneilla voidaan kompensoida rakennusvaimennuksen vaikutus. Älyantenneita hyödynnettäessä voitaisiin, myös välttää antennien kohdistus.

Useat suuret laitevalmistajat, kuten Nokia, joka on jo julkaissut WiMAX-kämmenlaitteen (Nokia N810 WiMAX Edition), ovat aloittaneet WiMAX-standardin mukaisten kannettavien päätelaitteiden suunnittelemisen ja kehitystyön. Myös Intel on kertonut alkavansa integroida uusiin kannettaviin tietokoneisiinsa WiMAX-piirisarjan.

Uusimpina WiMAX:n versioina ovat 802.16f, 802.16g sekä 802.16i ja ne keskittyvät verkkojen hallintaan. Versio 802.16h etsii keinoja eri verkkoteknologioiden häiriövapaaseen yhteentoimivuuteen lisensoimattomalla taajuusalueella. Lisäksi on kehityksen alla oleva versio 802.16m, joka lupaa muun muassa nopeampia tiedonsiirtonopeuksia liikkuville sekä kiinteille laitteille. Uuden version hyväksyntä näillä näkymin tulee olemaan vuoden 2010 alkupuolella.

Verkkojen kehittäjät jakaantuvat tänä päivänä lähinnä kahteen ryhmään. Toiset ovat LTE- ja 3G-kehityksen kannalla ja toiset vahvemmin WiMAX-kehityksen kannalla.

Amerikan mantereella toimiva operaattori SprintNextel ja tämän yhteistyökumppani Nokia Siemens Networks suhtautuvat avoimin mielin WiMAX:n kehitykseen ja Amerikan manterella tämä tuntuu toimivankin. Myös Samsung, Motorola ja Intel ovat vahvasti mukana tässä kehityksessä. Euroopassa taas mm. Ericsson, Vodafone ja Verizon Wireless ovat vahvemmin LTE- ja 3G-tekniikan kehityksen kannalla. Suomessa WiMAX ei ole vielä saanut kunnolla jalansijaa ja esimerkiksi Elektrobitin suuren WiMAX panostuksen takia se joutuu karsimaan henkilöstöään. Myös Nokia on vahvasti mukana LTE- ja 3G-tekniikan kehitystyössä, mutta sillä on NSN:n myötä myös panoksia kehittää WiMAX-tekniikkaa.

Kehitteillä on jo toisen sukupolven WiMAX2-tekniikka, jota työstetään muun muassa Euroopan komission kolmivuotisessa WiMagic-projektissa. WiMagic-projektin nimi on *Worldwide Interoperability for Microwave Broadband Access System for Next Generation Wireless Communications* ja sitä johtaa Ranskalainen Sequans, joka yksi johtavista WiMAX-piirien valmistajista. WiMax2 lupaa parannuksia tekniikkaan monella tapaa. Muun muassa parannuksia on tulossa liikkuvuuden turvaamiseksi, tiedonsiirtonopeuksiin sekä paranneltuja algoritmeja.

Maksimikanavanleveys kasvaa 20 megahertsistä 40 megahertsiin ja datanopeuden pitäisi ylittää aina 350 megabittiin asti. Päätelaitteesta tukiasemaankin vauhtia pitäisi tulla 20 megabittiä sekunnissa. Lisäksi tavoitteena on laadukkaan linkin säilyminen aina 350 kilometrin tuntinopeudessa.

10 YHTEENVETO

Teknologiana WiMAX soveltuu lukuisiin eri käyttötarkoituksiin ja sen kehitystyö sekä suosio on tällä hetkellä jatkuvassa nousussa, vaikka Suomessa se yleisesti on vielä melko tuntematon järjestelmä. Suomessa kuitenkin monella operaattorilla on menossa kehitysprojekti WiMAX-verkon käyttöönottamiseksi. Se on monipuolinen ja pystyy tarjoamaan langattomia palveluja sekä kiinteille että liikkuville päätelaitteille. Erityisesti se tulee valtaamaan alaa paikoissa, joihin kaapeleiden veto ei ole taloudellisesti eikä maantieteellisesti järkevää. Moni on myös povannut siitä merkittävää kilpailijaa matkapuhelinverkoille, mutta omasta mielestäni se ei kuitenkaa kilpaile samassa kategoriassa.

Vaikkakin WiMAX on kovassa kasvussa, se on sen puolesta hyvin toteutettu tekniikka, että se perustuu standardeihin joten se ei poissulje toisten teknologioiden olemassaoloa (WiFi, Bluetooth, jne), vaan pystyy toimimaan niiden rinnalla. Standardoinnin myötä tehdään mahdolliseksi se, että eri valmistajat voivat tehdä samaan tekniikkaan perustuvia laitteita ja tehdä niistä yhteensopivia.

Massatuotannon myötä tullaan saavuttamaan huokea hinnoittelu jonka myötä kuluttajille tajottavien laitteiden hinta tulee laskemaan. WiMAX-sertifioituja tuotteita tullaan näkemään irrallisina komponentteina sekä järjestelmiin integroituina.

LÄHDELUETTELO

Painamattomat lähteet

- 1 WiMAX Forum [www-sivu] [viitattu 29.10.2008]
<http://www.wimaxforum.org/documents/faq/>
- 2 HowStuffWork [www-sivu] [viitattu 16.10.2008]
<http://computer.howstuffworks.com/wimax1.htm>
- 3 WiMAX Forum [www-sivu] [viitattu 20.10.2008]
http://www.wimaxforum.org/about/Current_Members
- 4 National Instruments, developer zone [www-sivu][viitattu 26.10.2008] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>
- 5 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 29.10.2008]
http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#Binary_phase-shift_keying_.28BPSK.29
- 6 Wikipedia [www-sivu] [viitattu 29.10.2008]
http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation

Painetut lähteet

- 7 Penttinen, Jyrki: Tietoliikennetekniikka 3G ja erikoisverkot. WSOY Helsinki 2006.
- 8 Smith, Clint & Meyer John: 3G Wireless with WiMAX and Wi-Fi. McGraw Hill Companies USA 2004
- 9 Granlund, Kaj: Tietoliikenne. WSOY Porvoo 2007.
- 10 Ahson, Syed & Ilyas, Mohammad: WiMAX Technologies, Performance Analysis and QoS. Taylor&Francis Group USA 2008.
- 11 Ahson, Syed & Ilyas, Mohammad: WiMAX Standards and Security. Taylor&Francis Group USA 2008.
- 12 Ahson, Syed & Ilyas, Mohammad: WiMAX Applications. Taylor&Francis Group USA 2008.