

Teknillinen korkeakoulu
Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos

WIMAX-järjestelmien suorituskyvyn tutkiminen

Mika Nupponen
Diplomityöseminaari 08.01.2008
Työn valvoja:
Professori Sven-Gustav Häggman

Esityksen sisältö

- Työn tausta
- Tutkimusongelma ja tavoitteet
- WiMAXista
- Radiokanavat
- Mittausjärjestelyt
- Mittaustulokset
- Johtopäätökset ja jatkotutkimus

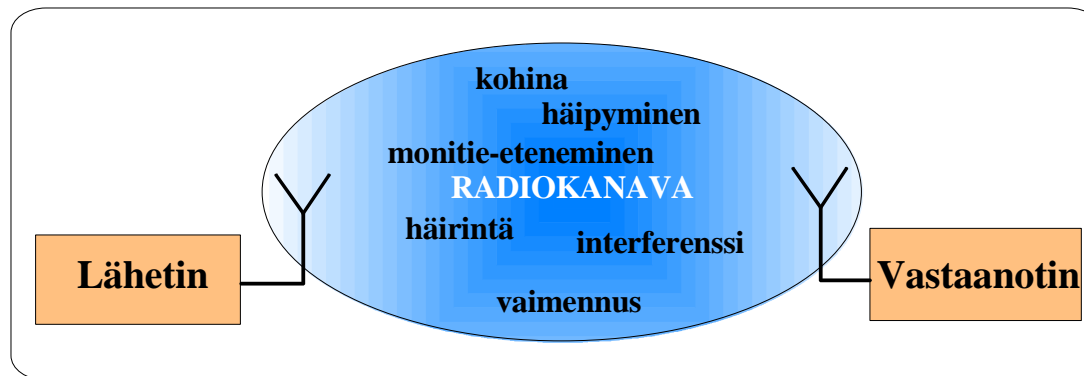
Työn tausta

- Mikä WiMAX?
 - Worldwide Interoperability for Microwave Access
 - WiMAX Forum
 - IEEE802.16 standardiperhe
 - Langaton siirtojärjestelmä
 - Vastaa kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä
 - WMAN-verkko: Kantama jopa 30 km
 - Sisäänrakennettu QoS

Laajan kantoalueensa ja langattomuuden ansiosta WiMAX sopii hyvin esimerkiksi laajakaistayhteyksien tarjoamiseen harvaan asutuille seuduille, joille valokuuidun tai kuparikaapelin vetäminen olisi kallista ja hankalaa

Työn tausta

- Mikä suorituskyky?
 - Pakettivirhesuhde, siirtoviive, yhteyden nopeus
 - Lisäksi: Yhteyden saatavuus, luotettavuus, QoS yms.
 - MAC-kerroksen toiminnan vaikutus
 - Katkoksen sieto ja kytkeytymisaika
 - Suorituskyky haasteellisessa radiokanavassa



Kuva 1. Radiokanavan laatuun vaikuttavia asioita.

Tutkimusongelma ja tavoitteet

- Tutkimusongelma
 - Kuinka (IEEE802.16d) järjestelmien suorituskykyä voidaan mitata?
 - Onko eri valmistajien laitteiden suorituskyvyssä eroa?
 - Miten selvittää haasteellisesta radiokanavasta?
- Tavoitteet
 - Kehittää mittausjärjestelyjä, joiden avulla voidaan MAC-kerroksen toimintaa ja suoriutumista haasteellisessa ympäristössä voidaan mitata.
 - Mitata 3 eri valmistajan WiMAX laitteet ja selvittää niiden välinen paremmuus
 - Tukiasemat A, B ja C ja päätelaitteet Aa, Bb, Cc.

WiMAX

- Kiinteä WiMAX, IEEE802.16d
 - Taajuusalue 2-11 GHz => Tutkittavat laitteet 3,5 GHz taajuuskaistalla
 - Perustuvat 256 alikantoaallon (eng. subcarrier) OFDM-tekniikkaan.
 - Näistä alikantoaalloista 192 kuuluu varsinaiselle datasiirrolle, kanavaestimointiin tarvittavia pilottikantoaaltoja on 8 ja loput 56 alikantoaaltoa ovat nolliä.
 - Alikantoaaltojen modulaationa voidaan käyttää BPSK- (eng. Binary Phase Shift Keying), QPSK- (eng. Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (eng. Quadrature Amplitude Modulation) tai 64QAM-tekniikkaa. Kaikilla alikantoaalloilla on kuitenkin aina sama modulaatio.

WiMAX II

- WiMAX ja ketjukoodaus:
 - Sisäkoodaus voidaan valita joko niin, ettei sitä käytetä, tai sitten sisäkoodaukseen voidaan käyttää lohko- tai pariteetintarkastuskoodia.
 - Ulkokoodaukseen Reed-Solomon(n,k) koodia, joka on lineaarinen lohkokoodi jossa k :n symbolin datajoukko koodataan pidemmäksi n :n symbolin koodisanaksi.
 - Sisäkoodaus (eng. inner encoding) koodaa alkuperäiset informaatiobitit, jonka jälkeen ulkokoodaus koodaa jo sisäkoodatut sanat.

Radiokanavat

- AWGN-kanava (Additive White Gaussian Noise model), kapasiteettimittaus
 - Kanava ei vääristä signaalia ja ainoa häiriö on kohina, jonka tehospektri on vakio signaalin kaistanleveydellä
 - voidaan simuloida mittauksissa käyttämällä laadukasta siirtokaapelia ja vaimenninta.
- Stanford University Interim (SUI) kanavamallit, liikkuva vastaanotto
 - Tyyppi A, SUI-5 ja SUI-6, kuvaavat mäkiä ja runsaspuustoista ympäristöä.
 - Tyyppi B, SUI-3 ja SUI-4, kuvaavat keskinkertaista puuston tiheyttä.
 - Osassa simuloiteja käytettiin taulukosta 1 esitettyä SUI-4 mallia
 - Tyyppi C, SUI-1 ja SUI-2 mallintavat tasaista ja tiheydeltään kevyttä puustoa.
- 2-tappinen malli, suorituskyky mittaukset viivehajeen funktiona
 - Kiinteää kaksitappista kanavamallia, joissa viivästynyt tappi oli 3 dB vaimeampi kuin ensimmäinen.
 - Tappien amplitudi oli vakio.

Taulukko 1. *SUI-4 3-tappinen kanavamalli.*

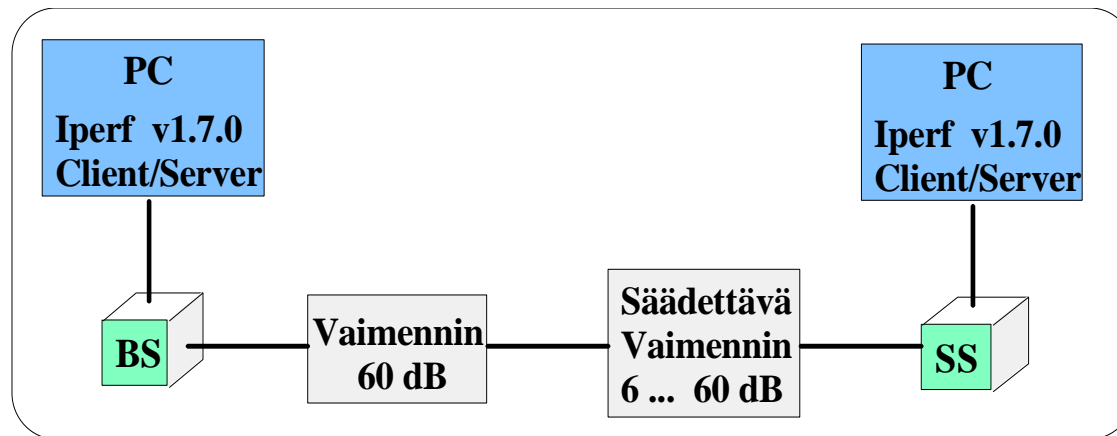
Tappi	Tehotaso	Viive	Häipymä	Doppler
1	0 dB	0 ns	Rayleigh	Pyörästetty
2	-4 dB	1500 ns	Rayleigh	Pyörästetty
3	-8 dB	4000 ns	Rayleigh	Pyörästetty



Kuva 2. Prosim C2 laaja-kaistainen radiokanava-simulaattori (kuva Elektrobit Oy)

Mittausjärjestelyt - kapasiteettimittaus

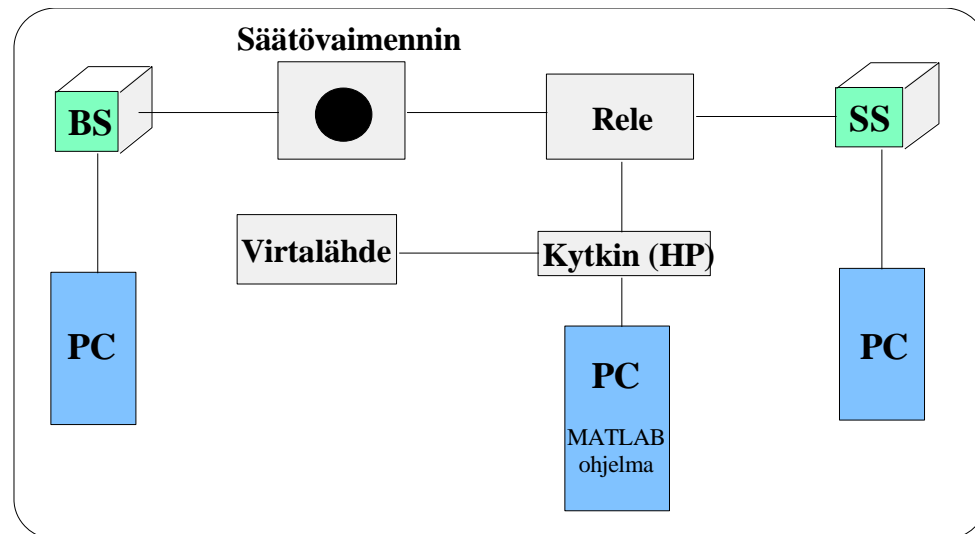
- Mittauksissa käytettiin Iperf-ohjelmaa. Mittauksissa lähetettiin 1470 tavua pitkiä UDP-paketteja niin suurella nopeudella, että paketteja alkoi juuri ja juuri kadota.



Kuva 3. Mittauskytkentä kapasiteettimittauksissa. Mittaukset suoritettiin sekä nousevaan että laskevaan siirtosuuntaan

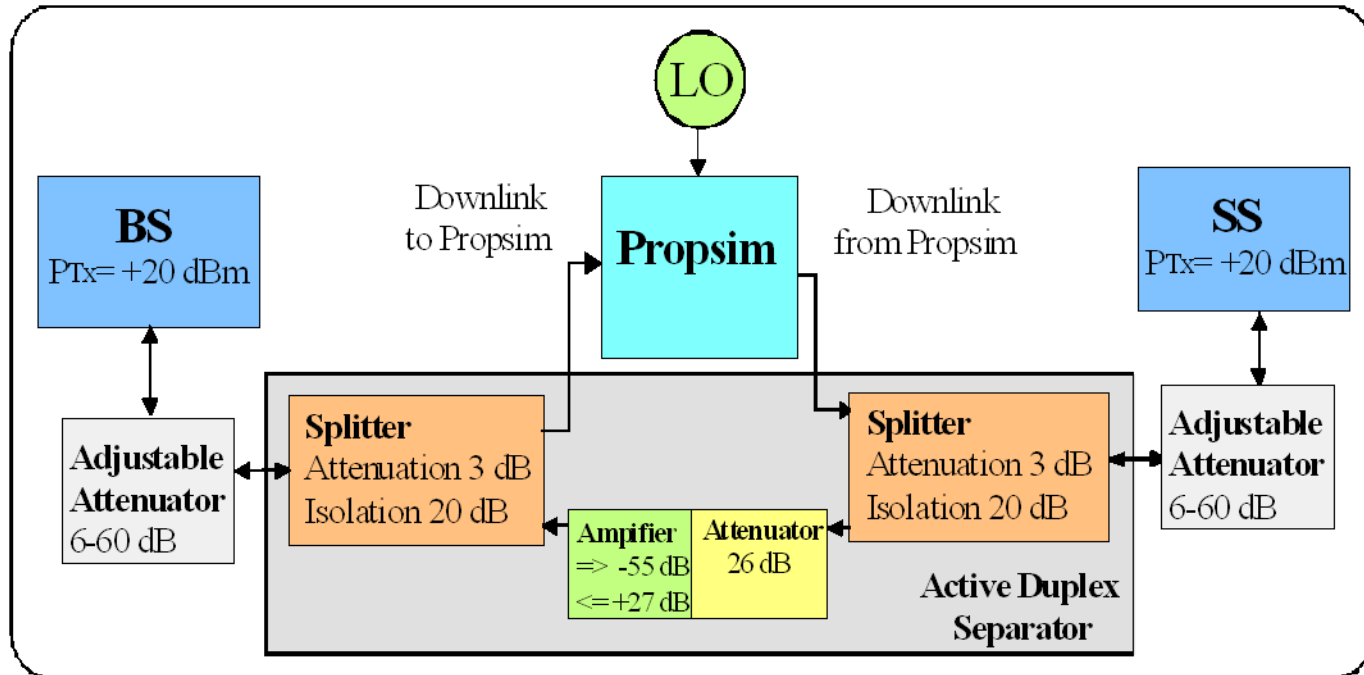
Katkoksensieto ja yhteyden muodostus

- Verrataan fyysiselle siirtotielle aiheutetun katkoksen pituutta UDP-pakettien vastaanotossa havaitun tauon pituuteen.
- Päätelaitteeseen (SS) kytketty PC lähetti jatkuvasti UDP-paketteja tukiasemaan (BS) kytkettyyn tietokoneeseen. UDP-paketteja generoitiin ja vastaanotettiin Iperf-ohjelmalla
- Matlab-ohjelmalla aiheutettiin HP:n relekytkimen kautta tietyn mittainen releen aukeaminen



Kuva 4. Yhteydenmuodostusviiveen mittauskytkentä

Suorituskykymittaukset viivehajeen funktiona ja siirtyvän liikenteen kanavassa



Kuva 5. Mittauskytkentä viivehaje- ja mobiliteettimittauksissa laskevaan siirtosuuntaan (Downlink).

Mittaustulokset

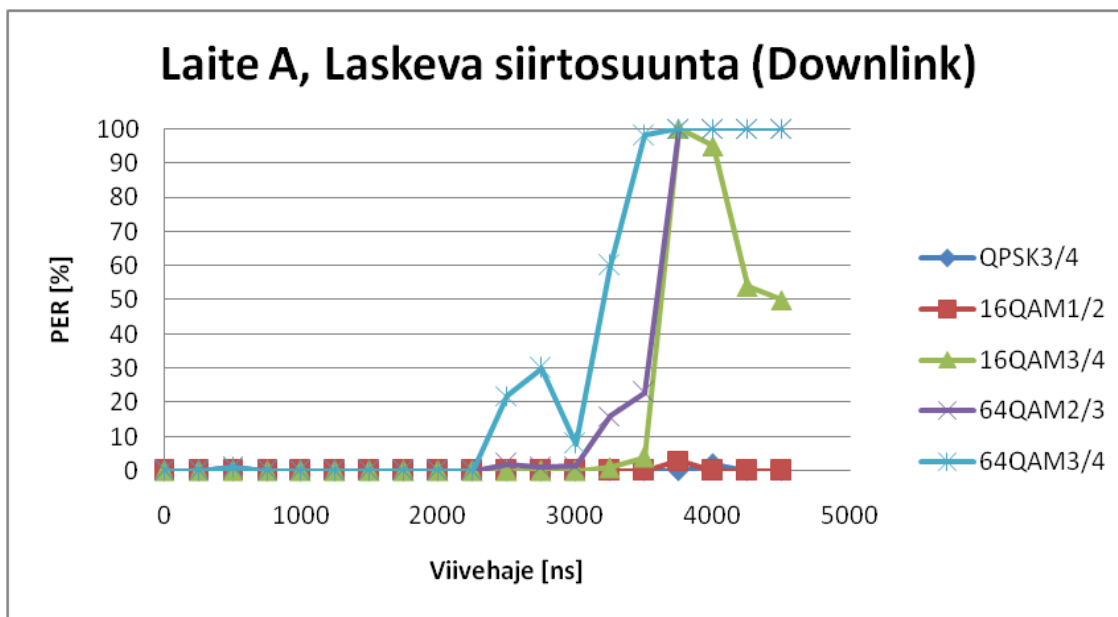
Katkos ja kytkeytymisaika

Taulukko 2. Katkos- ja kytkeytymisaika

	Laite A	Laite B	Laite C
Katkoksen maksimikesto	0,8 s	4,8 s	0,5 s
Kytkeäaika karkea arv.	11 s	4 s	16 s (Modeemi resatoi itsensä)
Nukkumisaika ka.	10 s	Ei havaittu	Ei havaittu
Parametrien muuttaminen	Osa mahdollista	Ei juuri mahdollista	Kaikki asetukset muutettavissa – muutoksia ei välttämättä mahd. kuitenkaan tehdä. Bugi tai pitkä viive asetusten käyttööntulossa.
Modulaation vaihto	DL Nopeaa UL Hidas: 80 s (Vanha versio) DL/UL nopea (uusi ohjelmisto)	DL/UL nopea	DL/UP nopea

Mittaustulokset II

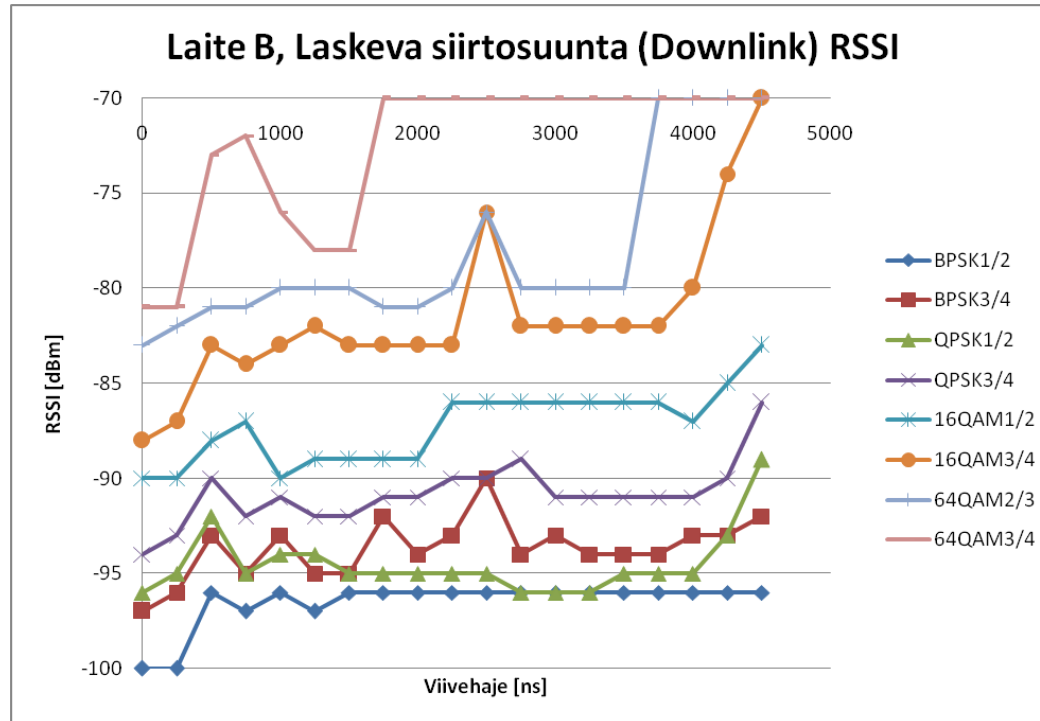
Suorituskyky viivehajeen funktiona



Kuva 6. Päätelaitte A:n pakettivirhesuhde viivehajeen kasvaessa. QPSK3/4 –modulaatiolla tai sitä yksinkertaisimmilla modulaatioilla ei havaittu pakettivirheitä viivehajeen pysyessä alle 5 ns. Vastaanottotehoksi oli säädetty -70 dBm.

Mittaustulokset III

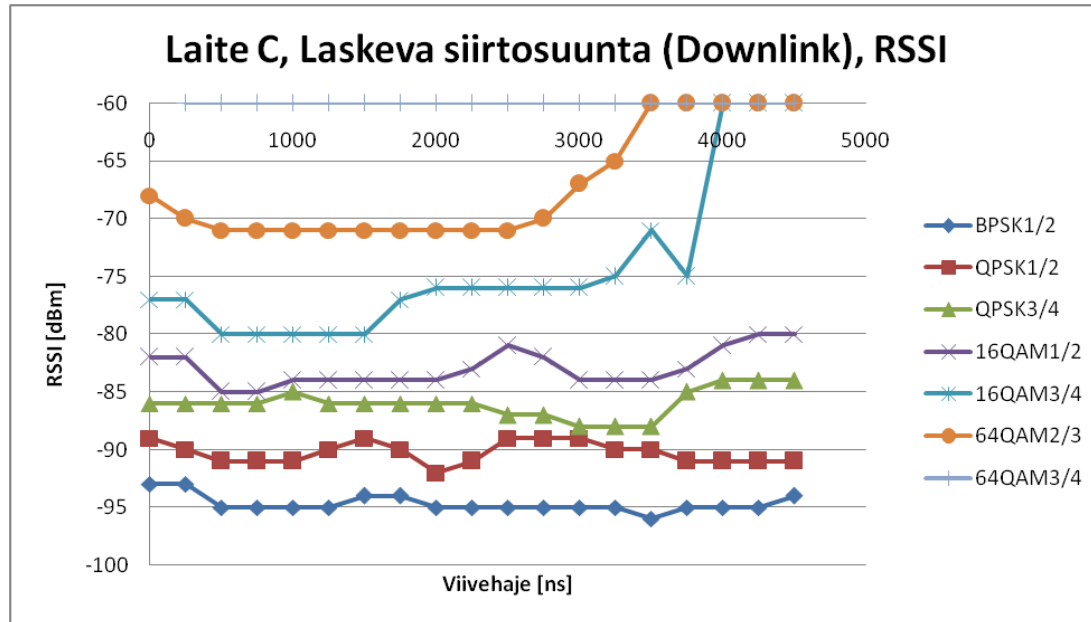
Suorituskyky viivehajeen funktiona



Kuva 7. Päätelaitte Bb:n vastaanottama signaalin tehotaso, jolla mitattava modulaatio pysyi viivehajeen kasvusta huolimatta samana. Taso -70 dBm toimii referenssiä joka tarkoittaa että kyseisellä tasolla yhteys joko katkesi tai modulaatio vaihtui.

Mittaustulokset IV

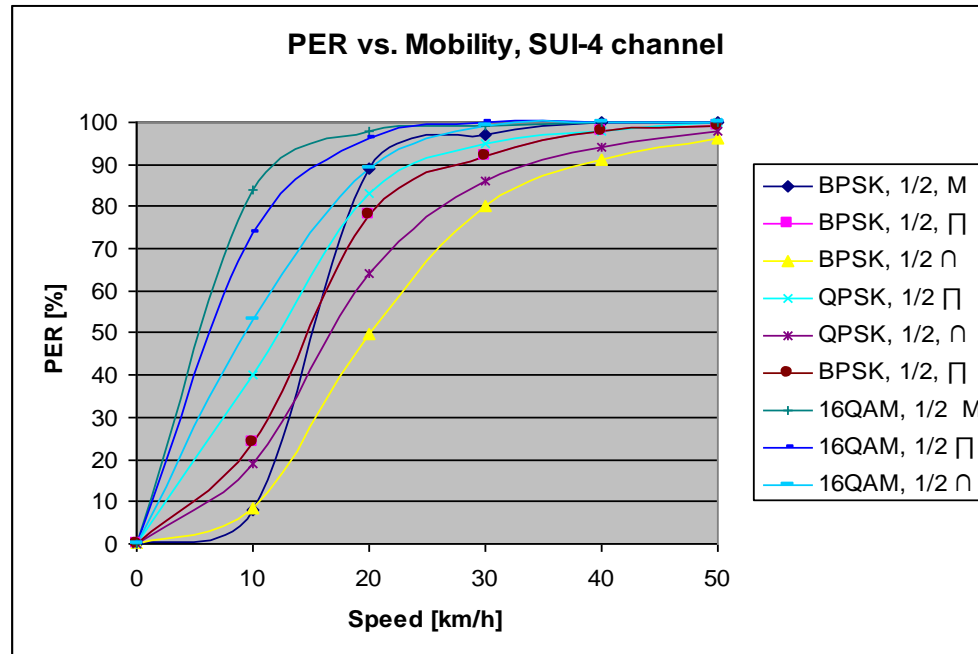
Suorituskyky viivehajeen funktiona



Kuva 8. Päätelaitte C:n vastaanottama signaalin tehotaso, jolla mitattava modulaatio pysyi viivehajeen kasvusta huolimatta samana. Taso -60 dBm toimii referenssiä, joka tarkoittaa, että kyseisellä tasolla yhteys joko katkesi tai modulaatio vaihtui.

Mittaustulokset V

Suorituskyky siirtyvän liikenteen kanavassa



Kuva 9. Pakettivirhesuhde SUI-4 radiokanavassa päätelaitteen liikkumisnopeuden funktiona

Johtopäätökset

- Katkoksensieto
 - Laite A ja C sietivät vain alle sekunnin katkoksen mutta laite B puolestaan jatkoi lähetystä vaikka yhteys oli ollut poikki melkein 5 sekuntia
 - Laite A nukahti 10 sekunniksi ja päätelaite C käynnisti itsensä uudelleen jos yhteys menetettiin liian pitkäksi aikaa.
- Suorituskyky viivehajeen funktiona
 - yksinkertaisimmilla modulaatiomenetelmillä yhdessä runsaan koodauksen kanssa (BPSK 1/2 ja QPSK 1/2) ei havaittu millään mitattavalla laitteella pakettivirhesuhteen heikkenemistä
 - 16QAM 3/4 ja 64QAM -modulaatioilla pakettivirhesuhde alkoi kasvaa jo 2 - 3 μ s jälkeen.
 - Kanavakorjaimet eivät pystyneet kompensoimaan viivehajeen vaikutusta.
- Suorituskyky siirtyvän liikenteen kanavassa
 - Mitatut WiMAX-päätelaitteet eivät sovellu liikkuvaan käyttöön.
 - Ongelmana ei ole niinkään Dopplerin ilmiö ja siitä johtuva kantoaaltojen taajuuden muuttuminen, vaan näköyhteyden menettäminen ja tästä johtuva varjostuminen.
 - Kanavakorjain? Lomittelu?

Jatkotutkimus

- Vastaavat mittaukset Mobiili-WiMAX –laitteille
 - OFDMA- ja SOFDM-tekniikat tuovat monipääsytekniikan OFDM-tasolle ja mahdollistavat alikantoaaltojen kohdentamisen eri käyttäjille.
- Pakettiviivemittaukset ja Mobiili-WiMAXissa siirtymä-viivemittaukset päätelaitteen siirtyessä tukiasemalta toiselle
- Tutkia
 - Voidaanko siirtoparametrejä optimoida
 - Millainen on WiMAX-järjestelmien suorituskyky muun verkon osana