

Dina Sadykova

4G- MITTAUKSET

Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2011

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Toukokuu 2011	Tekijä/tekijät Dina Sadykova
Koulutusohjelma Tietotekniikka 2007		
Työn nimi 4G- MITTAUKSET		
Työn ohjaaja FM Joni Jämsä		Sivumäärä 32 + 12
Työelämäohjaaja Ins. Marjo Heikkilä		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia radiokanavan ominaisuuksien vaikutusta tiedonsiirtoon, sekä neljännen sukupolven matkapuhelinjärjestelmän ympäristön rakentaminen sovelletun elektroniikan laboratorioon.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin radiokanavan ominaisuuksien vaikutusta tiedonsiirtoon. Tutustuttiin myös neljännen sukupolven matkapuhelinjärjestelmään ja selvitettiin, mitä teknologioita järjestelmässä käytetään.</p> <p>Päätavoitteena oli luoda neljännen sukupolven ympäristöön soveltuvat standardien mukaiset mittaukset EB PROPSIM- emulaattorilla.</p> <p>Samalla tuotettiin käyttökelpoista materiaalia neljännen sukupolven mittauksiin PROPSIM:illa, jotta Keski- Pohjanmaan Ammattikorkeakoulun opiskelijat ja alan yritykset hyötyisivät siitä.</p> <p>Työ tehtiin Centria T&K:lle. Työ alkoi 2/2011 ja päättyi 5/2011.</p>		

Asiasanat

4G, PROPSIM, LTE, MIMO, WiMAX.

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date May 2011	Author Dina Sadykova
Degree programme Information Technology 2007		
Name of thesis 4G- MEASUREMENTS		
Instructor M.Sc. Joni Jämsä		Pages 32 + 12
Supervisor B.Eng. Marjo Heikkilä		
<p>The aim of this graduation thesis was to examine the impact of radio channel characteristics on data transmission, as well as to build a fourth- generation wireless system environment in an applied electronics laboratory.</p> <p>The study examined the impact of radio channel characteristics on data transmission. In addition, the study included familiarization with a fourth- generation wireless system and finding out which technologies are used in this system.</p> <p>The main aim was to create a measurement environment suitable for a fourth- generation wireless system in accordance with the testing standards and using EB PROPSIM C8 emulator.</p> <p>The aim was to produce usable material for the fourth- generation wireless system measurements by EB PROPSIM C8, so that the students of Central Ostrobothnia University of Applied Sciences as well as IT- companies could make use of it.</p> <p>The work was done for the Centria R&D. The work began in February 2001 and ended in May 2011.</p>		

Key words 4G, PROPSIM, LTE, MIMO, WiMAX.
--

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
LYHENTEET
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 RADIOKANAVA	3
2.1 Doppler- ilmiö	3
2.2 Heijastuminen	4
2.3 Interferenssi	4
2.4 Monitie-eteneminen	5
2.5 Häipyminen	5
2.6 Vaimeneminen	6
2.7 Kohina radiokanavassa	6
3 4G-TEKNIKAT	8
3.1 LTE-ADVANCED	10
3.1.1 Carrier Aggregation	10
3.1.2 MIMO	11
3.1.3 Coordinated Multipoint	12
3.1.4 Relay	13
3.2 WiMAX 2.0 (IEEE 802.16m)	15
3.2.1 Yhteensopivuus	15
3.2.2 WiMAX 2.0 taajuusalueet	16
3.2.3 Moniantenni arkkitehtuuri (MIMO)	17
3.2.4 Monitukiaseman MIMO-tekniikka	18
4 TESTIYMPÄRISTÖ	20
4.1 Mittalaitteisto	20
4.2 Testikytkennät	20
5 TESTIT	22
5.1 Kanavamallit	22
5.2 CQI reporting under fading conditions	23
5.2.1 Frequency-selective FDD	23
5.2.2 Frequency-selective TDD	24
5.2.3 Frequency non-selective FDD	25
5.2.4 Frequency non-selective TDD	26
5.3 Demodulation of PDSCH (Cell Specific Reference Symbols)	27
5.3.1 Single- antenna port performance	27
5.3.2 Transmit diversity performance	28
5.3.3 Open loop spatial multiplexing	28
5.3.4 Closed loop spatial multiplexing	29
6 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31

LIITTEET

KUVIOT

KUVIO 1. Heijastuminen	4
KUVIO 2. Nopea ja hidas häipyminen	6
KUVIO 3. Valkoinen ja vaaleanpunainen kohina	7
KUVIO 4. OFDM:n aika- taajuus esitys	9
KUVIO 5. MIMO- teknologia	9
KUVIO 6. CoMP (Koordinoitu multipiste)- teknologia	12
KUVIO 7. 802.16m- järjestelmän yhteensopivuus 802.16e- järjestelmän kanssa	15
KUVIO 8. SU- MIMO- järjestelmä	17
KUVIO 9. MU- MIMO- järjestelmä	18
KUVIO 10. Monitukiasema MIMO	19
KUVIO 11. Testikykentä PROPSIM- emulaattorilla	20

TAULUKOT

TAULUKKO 1. LTE, LTE-Advanced suorituskykyä koskevat tiedot	11
TAULUKKO 2. LTE- Advanced	14
TAULUKKO 3. WiMAX 2.0 taajuusalueet	16
TAULUKKO 4. Viivehajonta	22

LYHENTEET

ACK	ACK on TCP:ssä (Transmission Control Protocol) oleva lippu, joka osoittaa kuittausnumerosarjacentässä olevan arvon olevan käytössä
AWGN	Additive white Gaussian noise
3G	The third generation, Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
3GPP	3rd Generation Partnership Project, on usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio
4G	The fourth generation, Neljännen sukupolven matkapuhelinteknologia
BLER	Block Error Rate, Lohkovirhesuhde
B.Eng.	Bachelor of Engineering
CA	Carrier Aggregation, kanta-aallon yhdistäminen
Co-MIMO	Cooperative Multiple Input Multiple Output, Yhteistoiminnallinen MIMO
CL-MD	Closed-Loop Macro Diversity, Suljetun piirin makrodiversiteetti
CoMP	Coordinated Multi-point, Koordinoitu multipiste
CSI	Channel State Information, Kanavatilän informaatio
CQI	Channel Quality Indicator, Kanavalaadun indeksi
DCI	Downlink Control Information
dB	Desibeli
EPA	Extended Pedestrian model, Jalankulkijan laajennettu kanavamalli
FDD	Frequency Division Duplex, taajuusjakoinen tekniikka
FM	Filosofian maisteri
ETU	Extended Typical Urban model, Laajennettu tyypillinen kaupunkikanavamalli
EVA	Extended Vehicular model, Laajennettu ajoneuvokanavamalli
GSM	Global System for Mobile Communications, digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä
H-FDD	Half Frequency Division Duplex, puolitaajuusjakoinen tekniikka
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IMT	International Mobile Telecommunications, maailmapuhelin konsepti

Ins.	Insinööri
IP	Internet Protocol, Internet- kerroksen protokolla
ITU	International Telecommunication Union, standardointijärjestö
LOS	Line-of-Sight, näköyhteys
LTE	Long Term Evolution, edistynyt 3G-teknologia
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple- Input and Multiple- Output, lähetyksen ja vastaanoton yhteydessä käytetään monta lähetys- ja vastaanottoantennia
MU-MIMO	Multi-User MIMO, monikäyttäjän MIMO
M.Sc.	Master of Science
NACK	Non- Acknowledgement , negatiivinen tunnistussanoma
OFDM	Orthogonal frequency- division multiplexing, ortogonaalinen taajuuden jako kanavointi
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PMI	Precoding Matrix Indicator, precoding matriisi- indikaattori
PRB	Physical Resource Block
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
Rx	Receiver, vastaanotin
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access, yhden kantaallon taajuusjakoinen monipääsymenetelmä
SDMA	Space-Division Multiple Access, tilajakoinen monipääsymenetelmä
SNR	Signal-to-Noise Ratio, signaali-kohinasuhde
statDTX	Static Discontinuous Transmission
SU-MIMO	Single-User MIMO, yhden käyttäjän MIMO
TBS	Transport Block Size, lähetysohjon koko
TDD	Time-Division Duplex, aikajakoinen tekniikka
TTI	Transmission Time Interval, lähetysohjon väli
TU	Typical Urban model, tyypillinen kaupunkimalli
TV	Televisio
Tx	Transmission, lähetysohjon
UE	User Equipment, päätelaite
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

VoIP	Voice over Internet Protocol, äänen siirto Internetin tai IP-protokollaa käyttävän verkon välityksellä
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, laajakaistatekniikka
WLAN	Wireless Local Area Network, lähiverkkotekniikka

1 JOHDANTO

Neljännän sukupolven matkaviestinverkon avasi Sonera Helsingin ja Turun asiakkaille jo 30.11.2010. 4G- matkapuhelintekniikka on täysin pakettikytkentäinen tekniikka, jossa on yhdistetty erilaisia verkkoja. Tämän yhden virtuaalisen verkon kautta tarjotaan IP-pohjaisia palveluja. 4G- verkossa pystytään lataamaan dataa 100Mbit/s- nopeudella ja lähettämään 20 Mbit/s- nopeudella.

Lokakuussa 2010 ITU- standardointijärjestö päätti, että WiMAX- Advanced- ja LTE- Advanced- standardit täyttävät 4G- järjestelmän vaatimukset.

4G- tekniikka käyttää OFDM- modulointia, joka mahdollistaa samanaikaista tiedonsiirtoa monilla taajuuskanavilla. MIMO- antennitekniikka on yksi tärkeimmistä teknologioista 4G:ssä. MIMO käyttää useita lähetys- ja vastaanottoantenneja signaalin lähetykseen ja vastaanottoon. Multi-hop- tekniikka mahdollistaa kuuluvuusalueen kasvattamisen.

Tämän opinnäytetyön aiheena on 4G- mittaukset. Työn tavoitteena on tutkia radiokanavan ominaisuuksien vaikutusta tiedonsiirtoon. Kun siirretään tietoa langattomasti, on otettava huomioon tiettyjä radiokanavan ominaisuuksia. Doppler-ilmiö, sironta, monitieeteneminen, häipyminen, heijastuminen ja taipuminen ovat eräitä radiokanavan ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet vaikuttavat paljon tiedonsiirtoon, signaalin laatuun ja aiheuttavat ongelmia langattomassa tiedonsiirrossa, kuten symbolien keskinäisvaikutusta, signaalin vaimenemista ja vääristymistä.

Opinnäytetyön aihepiiriin kuuluu myös 4G- mittausympäristöön soveltuvat mittaukset EB PROPSIM C8:lla. PROPSIM- emulaattorilla pystytään mallintamaan kanavamallit, joita käytetään mittauksissa, sekä lisäämään AWGN- signaalia kanavamalleihin. PROPSIM- emulaattori helpottaa työn suorittamista, koska yhdellä laitteella pystytään mallintamaan kokonaisia siirtokanavia.

Testiympäristö rakennetaan TS 36.508- standardin mukaisesti. Matkapuhelinverkkojen kehittyessä on tärkeä varmistaa palvelun laatua. Kanavalaatuindeksi (CQI) on tärkeä mittasuure LTE- mittauksessa. Tässä työssä luodaan testiolosuhteet CQI- mittauksille, sekä testataan PDSCH:n toimintaa. Testiympäristön rakentamiseen käytetään myös TS 36.521- standardia, jossa kuvataan testiparametrit ja testivaatimukset. Opinnäytetyön tarkoituksena oli myös suorittaa 4G:lle sopivat testit, mutta tässä vaiheessa se ei vielä onnistunut sopivan 4G- testettävän laitteen ja 4G- tukiaseman puuttumisen takia.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Centria T & K, koulun puolesta valvojana toimi Joni Jämsä.

2 RADIOKANAVA

Jim Geierin mukaan moni langaton henkilökohtainen tiedonsiirto perustuu radioaaltojen käyttöön (Geier 2005, 7). Radioaalto etenee ilmarajapinnassa radiokanavaa pitkin. Voidaan sanoa, että radiokanava on tie, jossa kulkee informaatio. Radiokanava koostuu lähettimestä, etenemiskanavasta ja vastaanottimesta. Esimerkiksi kiinteässä verkossa (eli johdollisessa järjestelmässä) radioaallot etenevät johtoja pitkin, langattomassa verkossa signaalit etenee ilmassa radiokanavaa käyttäen. Ilmassa liikkuvia sähkömagneettisia aaltoja kutsutaan radioaalloiksi. Niiden energia esiintyy sekä magneettisina että sähköisinä kenttinä. Kun radioaallot etenevät vastaanottajaa kohti, ne saapuvat eri teitä ja eri voimakkuuksilla. (Granlund 2001, 11.) Sähkömagneettinen säteily kuljettaa energiaa, jonka suuruutta kuvaa signaalin amplitudin voimakkuus. Sähkömagneettinen värähtely kuljettaa tietoa kahden pisteen välillä. (Granlund 2007, 19.) Ilmassa elektromagneettiset aallot kohtaavat liikettä estäviä erinäisiä esteitä, taloja, puita ja pienhiukkasia. Kun siirretään tietoa langattomasti, on otettava huomioon tiettyjä radiokanavan ominaisuuksia. Langatonta radiokanavaa käyttävät erilaiset laitteet, jotka kommunikoivat langattoman radiotien avulla. Näitä laitteita ovat mm: matkapuhelimet, Internet-tabletit, kannettavat tietokoneet, sensorit, joissa on radio ja kaukosäätimet. Myös satelliittitelevisio, langaton hiiri ja näppäimistö ovat langatonta tekniikkaa.

Kun siirretään tietoa langattomasti, on otettava huomioon tiettyjä radiokanavan ominaisuuksia. Doppler- ilmiö, sironta, monitie-eteneminen, häipyminen, heijastuminen ja taipuminen ovat eräitä radiokanavan ominaisuuksia. Signaalin taajuus vaikuttaa näihin ominaisuuksiin hyvin paljon.

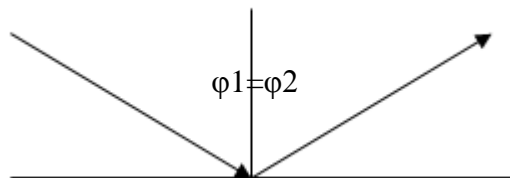
2.1 Doppler-ilmiö

Doppler-ilmiö esiintyy kaikissa aaltoliikkeissä. Kaj Granlundin mukaan liikkuvien päätelaitteiden ongelma on Doppler-ilmiö eli Doppler-siirtymä, jossa päätelaitteiden liikkuminen toisiinsa nähden aiheuttaa taajuusvääristymää. (Granlund 2007, 67.) On olemassa kolme Doppler-ilmiön tapausta: joko lähetin liikkuu ja vastaanotin pysyy paikallaan, vastaanotin liikkuu ja lähetin pysyy levossa, tai molemmat vastaanotin ja lähetin liikkuvat toisiinsa nähden. Doppler- ilmiötä hyödynnetään esimerkiksi paikannuslaitteissa ja tutkissa. Veijo Ojanperän mukaan tutkien toiminta perustuu Doppler-ilmiöön, missä liike lasketaan taajuuden vaihe-erosta. (Veijo Ojanperä, 28.9.2010.)

Langattomassa tiedonsiirrossa Doppler- siirtymä aiheuttaa ongelmia, jotka täytyy ottaa huomioon.

2.2 Heijastuminen

Radiosignaalien edetessä ilmassa, ne kohtaavat kiinteitä esteitä, kuten talojen seinät, vuoret, asfalttitiet jne. Signaali ei pysty kokonaan läpäisemään näitä esteitä, vaan osa signaaleista heijastuu takaisin ilmaan. Signaali heijastuu esteestä samassa kulmassa, jossa se osui siihen. Esteen muoto ja materiaali, tulokulma ja signaalin taajuus vaikuttavat heijastumiseen.



Kuvio 1. Heijastuminen.

2.3 Interferenssi

Interferenssiksi kutsutaan kahden tai useamman aallon yhteisvaikutusta. Yhteisvaikutukseen vaikuttaa interferoivien aaltojen vaihe-ero. Jos, esimerkiksi vastaanottajalle saapuu samanaikaisesti monta signaalia useammasta suunnasta, ja jos näiden eri suunnasta saapuvien radioaaltojen välillä on sopiva vaihe-ero, voi lopputuloksena olla joko vastaanotetun signaalin heikkeneminen tai voimistuminen. Jim Geierin mukaan radiointerferenssiä voidaan havaita järjestelmissä, jotka käyttävät lisenssivapaita taajuuskaistoja. Radiosignaali-interferenssi voi olla sisään- tai ulospäin suuntautuva. Sisäänpäin suuntautuva interferenssi esiintyy useasti, jos lähistöllä on toinen radiojärjestelmä, joka käyttää samaa modulointimenetelmää ja taajuutta. Meidän ympärillämme on myös muita sisäänpäin suuntautuvia interferenssilähteitä, kuten esimerkiksi matkapuhelimet, mikroaaltouunit, Bluetooth- laitteet. Jos yhden järjestelmän signaalit häiritsevät muita järjestelmiä, on kyseessä ulospäin suuntautuva interferenssi. Tämäkin interferenssin syntymisen syy on toisen langattoman verkon välitön läheisyys.(Geier 2005, 73–74.)

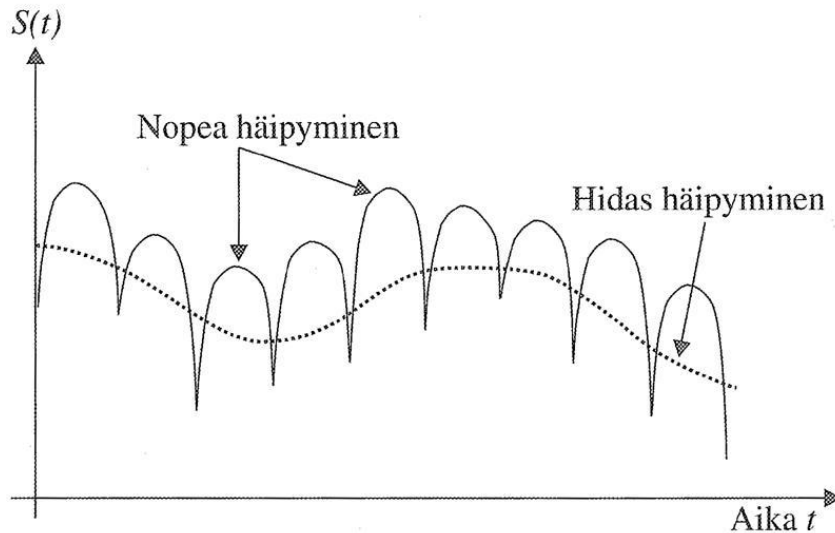
2.4 Monitie-eteneminen

Kuten aiemmin mainittiin, radiosignaali heijastuu ympäristössä olevista esineistä ja voi edetä pitempää reittiä verrattuna lyhimpään reittiin. Matkan varrella signaali menettää osan energiasta heijastuksen yhteydessä ja saapuu vastaanottajalle ”väärään aikaan”. (Granlund 2001, 15–16.) Kun signaali etenee monia teitä pitkin ja vastaanottopäässä signaalin komponentit summataan yhdeksi signaaliksi, koko signaalin voimakkuus riippuu siitä, miten signaalin komponenttien amplitudit poikkeavat toisistaan. Signaalin komponenttien vaihe-erojen vuoksi ne voivat joko vaimentaa tai voimistaa toisiaan. Monitie-etenemiseksi kutsutaan ilmiötä, jossa signaali etenee monia eri reittejä pitkin ja summautuu yhdeksi signaaliksi vastaanottopäässä. Monitie- eteneminen aiheuttaa ongelmia langattomassa tiedonsiirrossa, kuten esimerkiksi symbolien keskinäisvaikutus, signaalien vaimennus ja vääristyminen. Peltoniemen mukaan monitie-eteneminen, eli signaalin heijastuminen vastaanottimen lähellä olevista elementeistä, esiintyy enemmän kaupunkiympäristössä, missä on paljon heijastuvia pintoja, kuten talojen seinät ja ikkunat (Peltoniemi, 6.10.2009). Monitie-eteneminen aiheuttaa ongelmia ja virheitä radiosignaalien siirrossa ja siksi tätä radiokanavan ominaisuutta täytyy ottaa huomioon mittauksessa, etenkin kaupunkiympäristössä.

2.5 Häipyminen

Radiosignaalin etenemiseen vaikuttaa myös häipyminen, josta käytetään myös englanninkielistä sanaa fading. Kaj Granlundin mukaan häipyminen voidaan jakaa kahteen ryhmään: ensimmäiseen ryhmään kuuluu hidas häipyminen ja toiseen nopea häipyminen. Jos vastaanotetun signaalin keskiarvo muuttuu matkan varrella ja muutos johtuu esimerkiksi näköesteistä, maaston muutoksista, vuodenaikojen ja säätilan muutoksista yms., niin tätä häipymistä kutsutaan hitaaksi. Lähettimen liike sekä monitie-eteneminen aiheuttavat nopeaa häipymistä. Toisin sanoen, jos siirtotien symbolinopeus on pienempi kuin häipymisen taajuus, niin häipyminen on nopeaa; ja vastaavasti, jos siirtotien symbolinopeus on suurempi kuin häipymisen taajuus, niin häipyminen on hidasta. Jos datasiirrossa käytetään vaihemodulointia, se voi olla ongelmallista, koska nopea häipyminen aiheuttaa moduloidun pulssin leviämistä. Nopeasta häipymisestä johtuva moduloidun pulssin leviäminen voidaan estää, käyttämällä symbolinopeutta, joka on 100–

200-kertainen häipymisen taajuuteen nähden. (Granlund 2001, 15.) Kuten kuviossa 2 näkyy, nopeassa häipymisessä häipymän amplitudi muuttuu nopeasti ja taas hitaassa häipymisessä tasaisemmasti.



KUVIO 2. Nopea ja hidas häipyminen (Juutilainen 2011.)

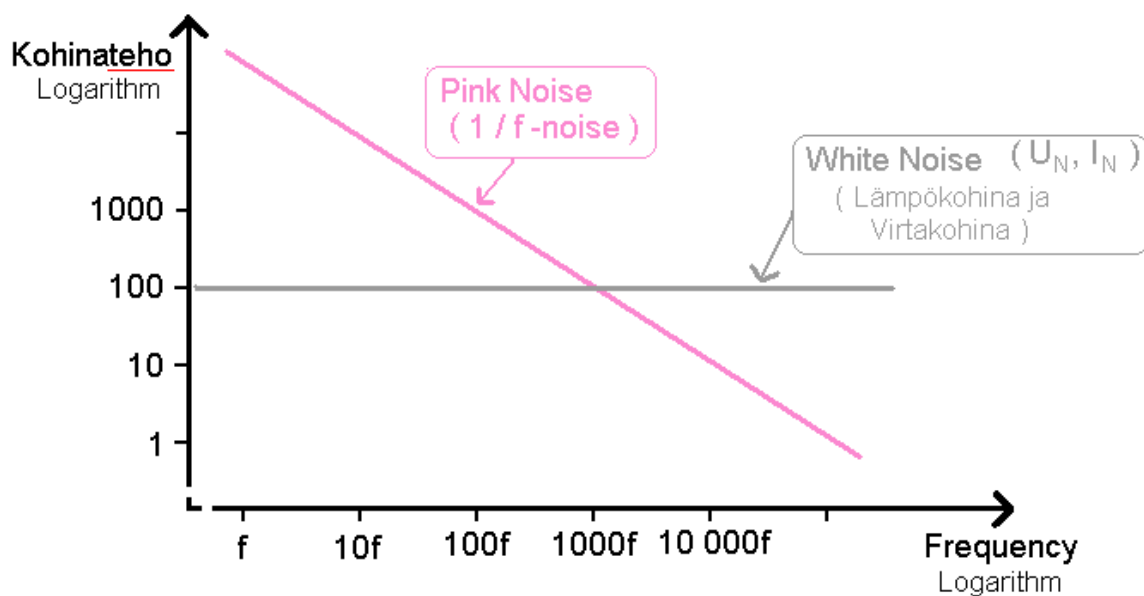
2.6 Vaimeneminen

Vaimeneminen on radiokanavan tärkeä ominaisuus, joka vaikuttaa tiedonsiirtoon. Granlundin mukaan jos signaalin sisältämä teho vähenee tiedonsiirron aikana, niin puhutaan vaimenemisesta. Vaimeneminen tapahtuu sekä johtimessa että ilmassa. Eri taajuuskomponenttien vaimeneminen vaihtelee riippuen taajuudesta ja käytetystä siirtotiestä. Ja koska vaimeneminen ei tapahdu tasaisesti, niin vaimenemisen mukana tapahtuu myös signaalin muodon vääristyminen. Vaimeneminen lasketaan lähetetyn ja vastaanotetun signaalin suhteena, yksikkönä on desibeli (dB). 3dB:n voimakkuuden lasku vastaanottopäässä tarkoittaa 50 % tehon pudotusta. (Granlund 2001, 13–15.) Vaimenemista voidaan korjata vahvistamalla signaalia vastaanottopäässä ja korjaamalla signaalin muotoa.

2.7 Kohina radiokanavassa

Kohina on yksi häiritsevimmistä tekijöistä kaikissa sähkömagneettisiin aaltoihin perustuvissa systeemeissä. Lähetetty hyötysignaali voi peittyä vastaanottopäässä kohinasignaalin alle. Voidaan sanoa, että kohinatehon ja signaalitehon suhde määrää

yhteyden laadun. Yleensä kohinaa ei voida poistaa kokonaan radiokanavasta. Tämän takia kohina aiheuttaa omat rajoitukset langattomille siirtoteille. Kuten Honkanen todesi, on olemassa useita kohinamekanismeja, kuten lämpö-, $1/f$ -, rae-, kvanttikohina sekä valkoinen ja vaaleanpunainen kohina. Valkoisessa kohinassa taajuuskomponentteja on yhtä paljon, mutta taas vaaleanpunaisessa komponenttien määrä muuttuu taajuusdekadia kohden (Honkanen 2011). Kuten kuviossa 3 näkyy, valkoinen kohina pysyy samana taajuusdekadia kohti ja vaaleanpunainen pienenee taajuuden kasvaessa.



KUVIO 3. Valkoinen ja vaaleanpunainen kohina (Honkanen 2011.)

3 4G- TEKNIikka

Ensimmäisen 4 Generation (4G) -verkon Suomessa avasi asiakkaille Sonera 30.11.2010. Palvelut toimivat Turussa ja Helsingissä.

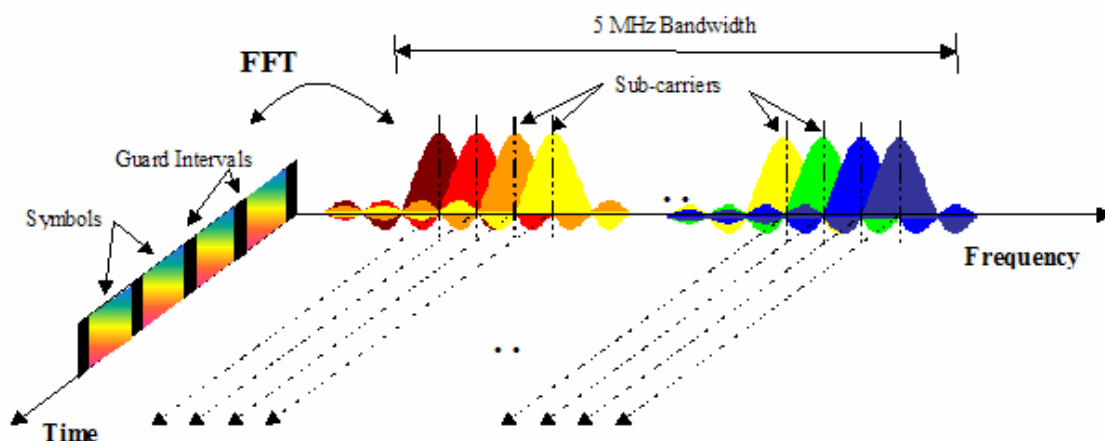
Soneran mobiilipalveluista vastaava Marek Hintze kertoi lehdistötiedotteessa, että asiakkaiden kiinnostuksen kasvaessa oli aika avata kaupallinen toiminta. Langattoman yhteyden kysyntä kasvaa koko ajan ja 4G -tekniikka tarjoaa enemmän kapasiteettia ja yhteysnopeutta liikkuvassa tiedonsiirrossa. Tällä hetkellä 4G - verkko toimii Suomessa 2,6 GHz:n taajuusalueella. Marek Hitzzen arvioinnin mukaan, 4G - verkon käyttö laajenee Helsingissä, kun 1,8 GHz:n päätelaitteita tulee markkinoille. Sonera panostaa 1,8 GHz:n verkonrakennukseen, sillä tällä taajuusalueella Sonera voi tarjota asiakkaille laajempaa peittoaluetta, ja tavoittaa enemmän käyttäjiä. (Sonera 2010.)

4G eli neljäs sukupolvi matkapuhelintekniikassa on täysin pakettikytkentäinen tekniikka, jossa on yhdistetty erilaisia verkkoja, kuten 3 Generation (3G), Voice over Internet Protocol (VoIP), Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth, Global System for Mobile Communication (GSM) ja todennäköisesti muita järjestelmiä. Tämän yhden virtuaalisen verkon kautta tarjotaan IP- pohjaisia palveluja.

International Telecommunications Union (ITU)-standardointijärjestö on valinnut lokakuussa 2010 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) – Advanced- (IEEE P802.16m) ja Long Tern Evolution (LTE)- Advanced- standardit 4G-tekniikan pohjaksi. Monet 4G- tuotteet, jotka olivat myynnissä jo ennen ITU:n valintaa ja perustuivat vanhoihin LTE- ja WiMAX- tekniikoihin eivät täytä standardointijärjestelmän vaatimuksia. (Mikhaylov 2010.)

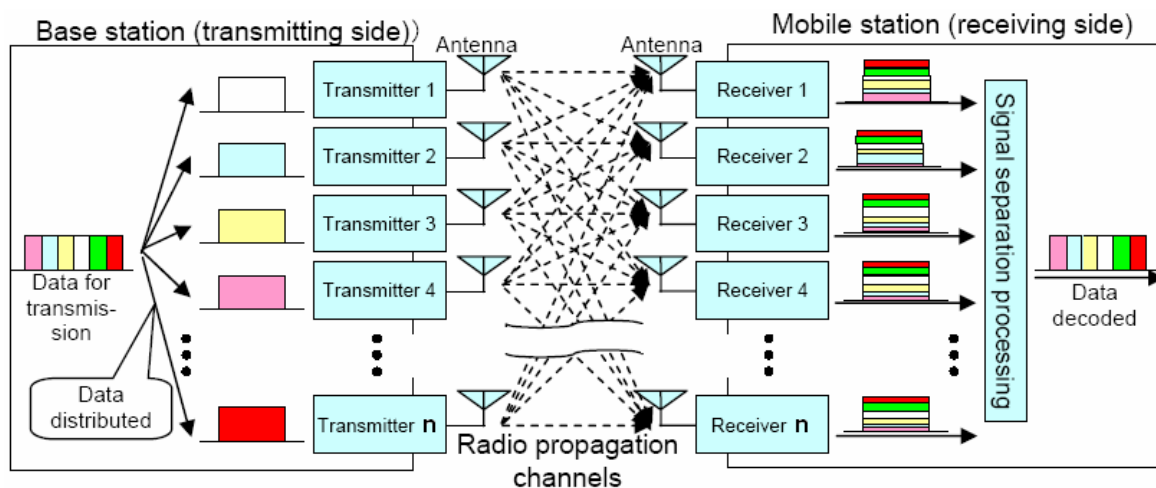
4G-verkossa latausnopeus on arvioitu 100 Mbit/s ja lähetyksenopeus 20 Mbit/s. ITU-standardointijärjestelmän mukaan 4 G- verkon latausnopeus voisi olla jopa 1 Gbit/s.

4G- tekniikka käyttää Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) -modulointia, joka mahdollistaa samanaikaista tiedonsiirtoa monilla taajuuskanavilla. OFDM- teknologia lisää taajuuskapasiteettia, datanopeuksien skaalautuvuutta ja antaa tehokkaan laajakajaistaisen datasiirron (Kerttula 2008). OFDM- moduloinnin etuja ovat: yksittäisen bitin keston pidentäminen, joten verkon häiriönsietokyky kohenee; ja yhteyden toimintakyky säilyy, koska siirrettävä signaali mukautuu siirtotien ominaisuuksiin (Granlund 2007, 112–113).



KUVIO 4. OFDM:n aika- taajuus esitys (Kerttula 2008.)

Multiple Input Multiple Output (MIMO) - antenniteknologia on yksi tärkeimmistä teknologioista 4 G:ssä. Kuten nimestä voi päätellä MIMO käyttää useita antennoja signaalien lähetykseen ja vastaanottoon (2x2, 4x4). Tämän ansiosta tiedon siirtonopeus kasvaa lähetyksentennien määrän mukaisesti. MIMO- tekniikka myös mahdollistaa Line-Of-Sight (LOS) - yhteyden eli suoran näköyhteyden, esimerkiksi sisätiloissa. (Kerttula 2008.)



KUVIO 5. MIMO – teknologia (Kerttula 2008.)

Multi-hop- teknologia mahdollistaa peiton kasvua älykkäällä reitityksellä ja multi-hop-noodeilla, sekä nopeamman käyttöönoton ja pienemmät infrastruktuurikustannukset. (Kerttula 2008.)

4G on uusi sukupolvi matkapuhelintekniikassa, joka mahdollistaa nopean yhteyden, yhdistää monia eri verkkoja, kuten GSM, 3G, WLAN, VoIP. 4G- verkko on täysin

pakettikytkentäinen ja mahdollistaa puheen, kuvan, TV- lähetyksen siirtoa päätelaitteille. 4G- tekniikka perustuu MIMO- ja OFDM-teknologioihin.

3.1 LTE- ADVANCED

LTE on 3rd Generation Partnership Project (3GPP):n standardoima matkaviestintekniikka. Jo vuoden 2009 lopussa LTE- tekniikka oli otettu käyttöön, joka oli luonnollinen GSM:n ja Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) kehitys. ITU on antanut liikkuville järjestelmille nimen International Mobile Telecommunications (IMT). IMT- Advanced on seuraava sukupolvi näissä järjestelmissä, jonka ominaisuudet ovat laajempia, kuin IMT 2000- järjestelmässä. Erityisesti tiedonsiirtonopeudet ovat kasvaneet. Tukeakseen kehittyneitä palveluja ja sovelluksia on oltava riittävän suuri datanopeus. IMT- Advanced tarjoaa 100 Mbps nopeutta liikkuville laitteille ja jopa 1 Gbps liikkumattomille laitteille. Vuonna 2009 3GPP on tehnyt tutkimuksen siitä, vastaako LTE- teknologia IMT-Advanced vaatimuksia ja parannuksia. Syyskuussa 2009 3GPP teki yhdessä ITU:n kanssa virallisen päätöksen, että LTE Release 10 & Beyond (LTE- Advanced) täyttää IMT-Advanced:n vaatimukset. (Kottkamp 2010.) LTE- Advanced on tekniikka, joka täyttää 4G matkaviestinverkon vaatimukset.

3.1.1 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation (CA) eli kahden kantoaallon yhdistäminen on yksi 4G:n ominaisuuksista, jonka LTE- Advanced täyttää. (4gamericas 2011.) Esimerkiksi Nokia Siemens Network esitti Barselonan Mobile World Congressissa kahden kantoaallon yhdistämistä (CA), jolloin LTE- yhteys pääsi 300 Mbps- nopeuteen. LTE- Advanced Carrier Aggregation- teknologiassa yhdistetään viisi 20 MHz:n kanavaa yhdeksi 100 MHz:n putkeksi. Tämä mahdollistaa lisäkapasiteettiä operaattorille. Antennia voidaan jakaa kahteen sektoriin ja kaventamalla keilaa jokainen tukiasema voi palvella kahdenkertaisen määrän käyttäjiä. Tämä ratkaisu ei vaadi suuria investointeja. (Ojanperä 2011.)

3.1.2 MIMO

4G:n vaatimuksien mukaan LTE- Advanced käyttää MIMO- teknologiaa, joka tarkoittaa antenniryhmien käyttöä, sekä lähettimessä että vastaanottimessa.

LTE- Advanced käyttää jopa 8x8 MIMO:a vastaanottopäässä ja 4x4 MIMO:a lähettimessä.(Agilent 2009.) MIMO- teknologialla maksimoidaan tiedonsiirtonopeutta ja parannetaan tiedonsiirron luotettavuutta. Säteen muotoilu ja paikkatietojen kanavointi lisää datanopeuksia, kattavuutta ja kapasiteettia.

TAULUKKO 1. LTE, LTE- Advanced ja IMT-Advanced suorituskykyä koskevat tiedot (mukaillen Agilent Technology 2011.)

Item	Sub-category	LTE	LTE-Advanced (4G)	IMT-Advanced (4G) requirement
Peak spectral efficiency (b/s/Hz)	Downlink	16,3 (4x4 MIMO)	30 (up to 8x8 MIMO)	15 (4x4 MIMO)
	Uplink	4,32 (64QAM SISO)	15 (up to 4x4 MIMO)	6,75 (2x4 MIMO)
Downlink cell spectral efficiency b/s/Hz/user Microcellular 3km/h 500 m ISD	(2x2 MIMO)	1,69	2,4	
	(4x2 MIMO)	1,87	2,6	2,6
	(4x4 MIMO)	2,67	3,7	
Downlink cell-edge user spectral efficiency (b/s/Hz/user) (5 percentile, 10 user), 500 m ISD	(2x2 MIMO)	0,05	0,07	
	(4x2 MIMO)	0,06	0,09	0,075
	(4x4 MIMO)	0,08	0,12	

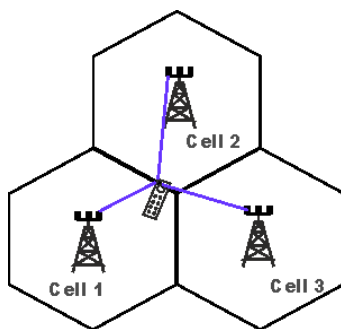
Kuten taulukossa 1 näkyy, käyttämällä MIMO- tekniikkaa vastaanotto- ja lähetysopeudet kasvavat. Esimerkiksi, 2x2 MIMO-antennijärjestelmä vastaanottaa signaalia 2,4 b/s/Hz/ käyttäjää kohti nopeudella, kuten taas 4x4 MIMO- antennilla päästään 3,7 b/s/Hz/ käyttäjää kohti nopeuteen.

3.1.3 Coordinated Multipoint (CoMP)

4G LTE- Advanced Coordinated Multipoint (CoMP) on teknologia, joka on kehitetty LTE-Advanced: lle. CoMP eli koordinoitu multipiste on tapa välittää tai vastaanottaa dataa käyttämällä useita tukiasemia. CoMP tuo useita etuja, esimerkiksi tiedonsiirtonopeutta. LTE CoMP tekee solun sisäisestä interferenssistä käyttökelpoiseksi signaaliksi, etenkin solureunoilla, missä signaalin voimakkuus on heikko.

Yksi tärkeimmistä 4G LTE- Advanced ominaisuuksista on korkea siirtonopeus. Siirtonopeutta on suhteellisen helppo ylläpitää lähellä tukiasemaa, mutta etäisyyksien kasvaessa on vaikeampi saavuttaa korkeita nopeuksia. Solun reunat ovat haastavimmat. Tukiaseman ja päätelaitteen välisen etäisyyden kasvaessa signaalin vahvuus pienenee ja naapuritukiasemien häiriötasot ovat todennäköisesti suuremmat, etenkin kun päätelaite tulee lähemmäs toista tukiasemaa.

LTE CoMP vaatii tiivistä koordinoitua maantieteellisesti erillään olevista tukiasemista. Dynaaminen koordinointi mahdollistaa tukiasemien välillä yhteisiä aikatauluja ja lähetyksiä, sekä vastaanotetun signaalin yhteistä käsittelyä. Tästä seuraa, että monta eri tukiasemaa voi palvella solun reunoilla olevia päätelaitteita. Tämä parantaa signaalin kuuluvuutta solun reunoilla.



KUVIO 6. CoMP (Koordinoitu multipiste)- teknologia (Radio-electronics.com 2011.)

LTE CoMP mahdollistaa kaksi toimintatilaa: yhteistä samanaikaista käyttäjien tietojen toimittamista useista tukiasemista yhteen päätelaitteeseen tai dynaamista soluvalintaa tiedonsiirron yhteydessä yhdestä tukiasemasta. Näiden toimintatilojen saavuttamiseksi tarvitaan erittäin yksityiskohtaista ja nopeaa palautetta radiokanavan ominaisuuksista, jotta

muutoksia voidaan tehdä nopeasti. Erittäin tiivis yhteistyö tukiasemien välillä mahdollistaa nopean solukytken.

LTE CoMP tuottaa paljon kysymyksiä downlinkin suhteen ja tämän takia on olemassa useita eri downlink vaihtoehtoja. Päätelaitte voi vastata vain yhteen lähetykseen eli terminaalit eivät ole tietoisia siitä, että lähetykset ovat peräisin useista eri maantieteellisistä pisteistä ja eri tukiasemista. Päätelaitte vastaanottaa, käsittelee ja raportoi niin, kun olisi saanut lähetyksen yhdeltä tukiasemalta. Verkko määrittelee, mitkä tukiasemat voivat muodostaa yhteyden tiettyyn päätelaitteeseen ottamalla huomioon radiokanavan vaimenemisen. Tietoa radiokanavan vaimenemisesta saadaan päätelaitteesta, joka toimittaa nämä tiedot tukiasemalle. Toinen 4G LTE CoMP vaihtoehto on päätelaitteen kanavatilanteen tiedoston välittäminen kaikille downlink-kanaville, jotka päätelaitte pystyy havaitsemaan. Verkossa kaikki käsittelyt tehdään yhdellä solmupisteellä (noodilla), jotta aikaansaadaan riittävän nopea käsittely. Kolmas vaihtoehto on, kun terminaleilla on tiedot tukiasemien lähetyksistä. Käyttämällä tätä lähestymistapaa 4G LTE CoMP:n koordinoimalle multipisteterminaalille annetaan tietoja eri tukiasemien lähetyksistä. Jokaisen tukiaseman tiedot sisältävät lähetyksen yksityiskohdat, kuten esimerkiksi mistä tukiasemasta signaali on tullut, lähetyskanava, lähetyksen koko jne. Tämä lähestymistapa voi parantaa signaalin käsittelyä, mutta myös signaalikäsittelyn kustannukset nousevat.

3.1.4 Relay

Tärkeä LTE-tekniikan ominaisuus, eli siirtonopeus, voidaan saavuttaa käyttämällä teknologioita. Kuitenkin kaikki tekniikat kärsivät siirtonopeuden alenemisesta etenkin solun reunoilla, jossa signaalin taso on alhaisempi ja häiriöt ovat tyypillisesti suurempia. MIMO- ja OFDM-tekniikoiden, sekä kehittyneiden virhekorjaustekniikoiden ansiosta virheitä solun reunoilla voidaan vähentää, mutta ongelmat eivät poistu täysin. Koska solun reunan suorituskyky on kriittinen, niin joitakin teknologioita kehitettiin näitä alueita varten. On todella tärkeää tarkastella näitä ratkaisuja, jotka parantavat solun reunojen suorituskykyä. Yksi näistä ratkaisuista on LTE relay:n käyttö. LTE relay:n käyttö on erilainen, kun esimerkiksi toistimen käyttö, joka lähettää signaalin uudelleen. Relay vastaanottaa, demoduloi ja purkaa tiedot, tekee virhekorjauksen, ja sitten lähettää viestin uudelleen. Näin signaalin laatu paranee, kun taas käyttämällä toistinta signaali kärsisi heikkenemisestä ja kohinasuhde pieneneisi. LTE relay on yhteydessä relay-solmun kanssa,

joka on taas yhteydessä tukiaseman kanssa. Relay- solmut voivat haluttaessa tukea korkeamman tason toimintoja, kuten esimerkiksi tukiasemassa olevien käyttäjien tietojen purkamista ja tietojen uudelleen koodaamista ennen niiden lähettämistä päätelaitteille. LTE relay on kiinteä infrastruktuuri ilman langallista runkoyhteyttä. Viestejä välitetään tukiaseman ja liikkuvien päätelaitteiden välillä multi-hop-menetelmällä.

On olemassa kahdenlaisia LTE relay- tyyppiä. Ensimmäiseen tyyppiin kuuluvat LTE relay- tekniikat, jotka ohjaavat solut oman identiteettinsä mukaan lähettämällä omia synkronointikanaviaan ja viitesymbolejaan. Ensimmäistä LTE relay tyyppiä käyttävät LTE rel.8:n tukiasemat ja päätelaitteet. Toiseen tyyppiin kuuluvat relayt, jotka eivät omista mitään tiettyä solua, siksi relaylla ei ole omaa identiteettiä ja se näyttää pääsolulta. Kaikki päätelaitteet eivät pysty erottamaan oikeaa tukiasemaa relay-pisteestä, ja näin ohjaustiedot voidaan lähettää tukiasemalta ja käyttäjän tiedot LTE relay- pisteestä. (Radio-electronics.com 2011.)

TAULUKKO 2. LTE- Advanced (mukaillen Radio-electronics.com 2011.)

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA/HSUPA	HSPA+	LTE	LTE- Advanced (IMT- Advanced)
Max downlink speed bps	384 k	14 M	28 M	100 M	1 G
Max uplink speed bps	128 k	5,7 M	11 M	50 M	500 M
Latency round trip time approx	150 ms	100 ms	50 ms(max)	10 ms	<5 ms
3GPP releases	Rel. 99/4	Rel. 5/6	Rel.7	Rel.8	Rel.10
Approx years of initial roll out	2003/4	2005/6 HSDPA 2007/8 HSUPA	2008/9	2009/10	
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/SC- FDMA	OFDMA/SC- FDMA

LTE- Advanced tekniikka pystyy vastaanottamaan (Downlink Speed) informaatiota 1 Gbps- nopeudella ja lähettämään paketteja (Uplink Speed) 500 Mbps- nopeudella. Paketin edestakaiseen matkaan kuuluu alle 5ms:a (latency). LTE- Advanced on 3GPP rel.10 kehittämää tekniikkaa, joka perustuu OFDMA/SC-FDMA pääsymenetelmiin.

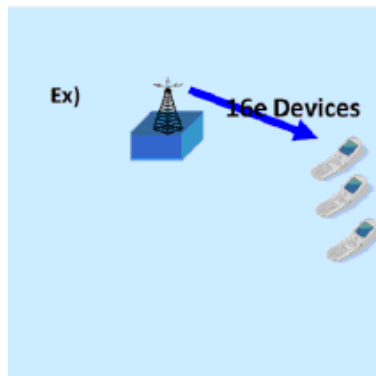
3.2 WiMAX 2.0 (IEEE 802.16m)

WiMAX 2.0 on parannettu WiMAX:n versio, joka perustuu Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.16m- standardiin, joka taas pohjautuu 802.16e- standardiin. Parannettu WiMAX versio sisältää uusia ominaisuuksia ja on yhteensopiva edellisen version kanssa. WiMAX 2.0 tuo mukaan isompaa kapasiteettia järjestelmään, 300 Mbps datanopeutta, pienempää latenssia ja lisää VoIP - kapasiteettia täyttämällä 4G ITU:n vaatimuksia. WiMAX 2.0 kaupallisia tuotteita odotetaan markkinoille vuonna 2012.

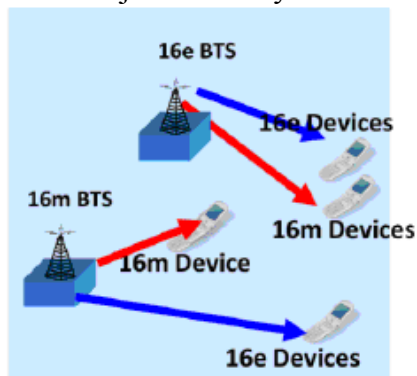
3.2.1 Yhteensopivuus

IEEE 802.16m- standardiin perustuvat tukiasemat tukevat WiMAX-OFDMA eli IEEE 802.16e- järjestelmiä. IEEE 802.16m Mobile Station eli liikkuva päätelaite toimii vanhan 802.16e- standardin tukiaseman kanssa. 802.16m- standardiin perustuva tukiasema tukee sekä 802.16e-laitteita, että 802.16m- laitteita. Operaattorit, jotka ovat ottaneet käyttöön 802.16e- järjestelmän voivat sujuvasti siirtyä 802.16m- järjestelmään kokonaan tai valikoivasti. 802.16m- järjestelmän runkorakenteella on kyky toimia 802.16e- runkorakenteen kanssa. (BP Tiwari 2010.)

Vain 802.16e- laitteet



802.16e ja 802.16m yhdessä



Vain 802.16m-laitteet



KUVIO 7. 802.16m- järjestelmän yhteensopivuus 802.16e- järjestelmän kanssa (mukaillen BP Tiwari 2010.)

Yhteensopivuutta on esitetty kuviossa 7. Yhteensopivuutta 802.16e- ja 802.16m- järjestelmien välillä voidaan saavuttaa valitsemalla sopiva vastaanotetun ja lähetetyn signaalin symbolien määrä 802.16m- ja 802.16e- tukiasemien välillä. Operaattorien

näkökulmasta tämä on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista siirryttäessä 802.16m-järjestelmään.

3.2.2 WiMAX 2.0 taajuusalueet

Ensimmäinen WiMAX julkaisu oli Time-Division Duplexing (TDD) ja useimmat järjestelmät toimivat 2.3GHz , 2.5GHz ja 3.5GHz taajuusalueilla. Myöhemmin WiMAX 1.5 versiossa otettiin käyttöön Frequency-Division Duplexing (FDD) ja Half – duplex FDD (H-FDD), mikä mahdollisti 1.7 GHz ja 2.1 GHz taajuusalueiden käyttöä. 802.16m-standardi käyttää FDD- ja TDD- taajuusalueita WiMAX - käyttöjärjestelmässä. (BP Tiwari 2010.)

TAULUKKO 3. WiMAX 2.0 taajuusalueet (BP Tiwari 2010.)

Band Class	UL AMS Transmit Frequency (MHz)	DL AMS Receive Frequency (MHz)	Duplex Mode
1	2300-2400	2300-2400	TDD
2	2305-2320, 2345-2360	2305-2320, 2345-2360	TDD
	2345-2360	2305-2320	FDD
3	2496-2690	2496-2690	TDD
	2496-2572	2614-2690	FDD
4	3300-3400	3300-3400	TDD
5L	3400-3600	3400-3600	TDD
	3400-3500	3500-3600	FDD
5H	3600-3800	3600-3800	TDD
6	1710-1770	2110-2170	FDD
	1920-1980	2110-2170	FDD
	1710-1755	2110-2155	FDD
	1710-1785	1805-1880	FDD
	1850-1910	1930-1990	FDD
	1710-1785, 1920-1980	1805-1880, 2110-2170	FDD
7	1850-1910, 1710-1770	1930-1990, 2110-2170	FDD
	698-862	698-862	TDD
	776-787	746-757	FDD
	788-793, 793-798	758-763, 763-768	FDD
	788-798	758-768	FDD
	698-862	698-862	TDD/FDD
	824-849	869-894	FDD
	880-915	925-960	FDD
698-716, 776-793	728-746, 746-763	FDD	
8	1785-1805, 1880-1920, 1910-193, 2010-2025, 1900-1920	1785-1805, 1880-1920, 1910-193, 2010-2025, 1900-1920	TDD
9	450-470	450-470	TDD
	450.0-457.5	462.5-470.0	FDD

Taulukossa 3 on esitetty taajuusalueet, jotka käytetään WiMAX 2.0 – järjestelmässä, sekä taajuusalueiden duplex- moodit (duplex mode).

3.2.3 Moniantenni arkkitehtuuri

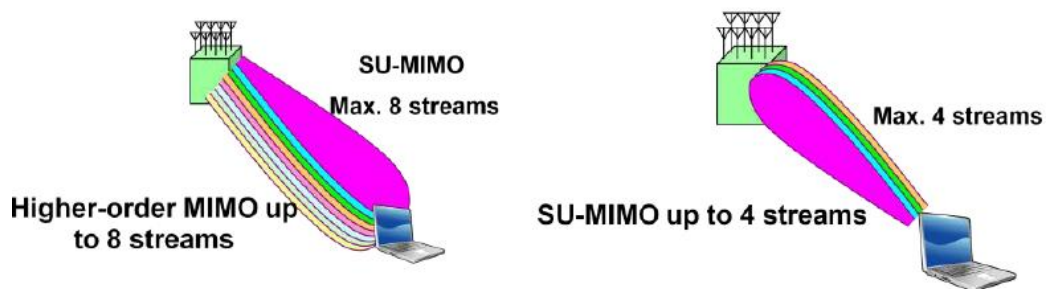
WiMAX 2.0 tukee useita kehittyneitä moniantennijärjestelmiä, kuten yhden ja monen käyttäjän MIMO- tekniikkaa, sekä käyttää useita lähettäjäantenneja järjestelmässä.

Yhden käyttäjän MIMO- järjestelmässä (Single User- MIMO SU-MIMO,) yhdellä päätelaitteella on mahdollisuus käyttää useita antenneja, jotka ovat fyysisesti yhteydessä kunkin omaan terminaaliin. Monikäyttäjä MU-MIMO (Multi-User MIMO)- järjestelmää pidetään laajennettuna Space-Division Multiple Access (SDMA) - käsitteenä, jonka avulla päätelaite lähettää useille käyttäjille tai vastaanottaa signaalia useilta käyttäjiltä samalta taajuusalueelta ja samanaikaisesti.

Yhden käyttäjän MIMO- järjestelmiä käytetään parantamaan yhteyden suorituskykyä tarjoamalla hyvänlaatuisen signaalin sijainnin muuttuessa, suuret vahvistukset ja datanopeudet yhdelle päätelaitteelle sekä sivukeilan vahvistukset. 802.16m- järjestelmä tukee sekä avoimen piirin SU-MIMO (Open-Loop SU-MIMO), että suljetun piirin SU-MIMO (Closed-Loop SU-MIMO).

Avoimen piirin SU-MIMO:ssa tuetaan alueellista kanavointia ja lähetyksen vaihtelevuutta. Suljetun piirin SU-MIMO:ssa koodikirja (codebook) koostetaan lähettimestä saatujen kanavatietojen perusteella. Channel Quality Indicator (CQI), Precoding Matrix Information (PMI) sekä järjestelmän vaste voidaan toimittaa päätelaitteen kautta. CQI- sekä PMI- järjestelmän vasteet voivat olla taajuusriippuvaisia.

SU-MIMO schemes



KUVIO 8. SU-MIMO- järjestelmä (BP Tiwari 2010.)

Multi-User MIMO- järjestelmiä käytetään, kun halutaan lähettää signaali kahdelle tai useammalle päätelaitteelle. MU-MIMO parantaa järjestelmän suorituskykyä. Kun dataa halutaan lähettää monelle käyttäjälle samanaikaisesti, lähetetään yksi lähetys vuorotellen

jokaiselle käyttäjälle. MU-MIMO:ssa voi olla 2 Tx- antennia (lähetysantennia), jotka tukevat siten 2 käyttäjää samanaikaisesti, 4Tx- ja 8Tx- antennia, jotka taas tukevat jopa 4 käyttäjää. Yhtenäinen sekä ei-yhtenäinen MU-MIMO precoding-tekniikka ovat tuettuna 802.16m- järjestelmässä.



KUVIO 9. MU-MIMO- järjestelmä (BP Tiwari 2010.)

Avoimen MU-MIMO-piirin CQI- arvoa voidaan lähettää samanaikaisesti tukiasemien aikataulujen tilatietojen vaihdossa. CQI on taajuusriippuvainen. Suljetun piirin MU-MIMO- järjestelmä näyttää samalta, kuin suljetun piirin SU-MIMO- järjestelmä. (BP Tiwari 2010.)

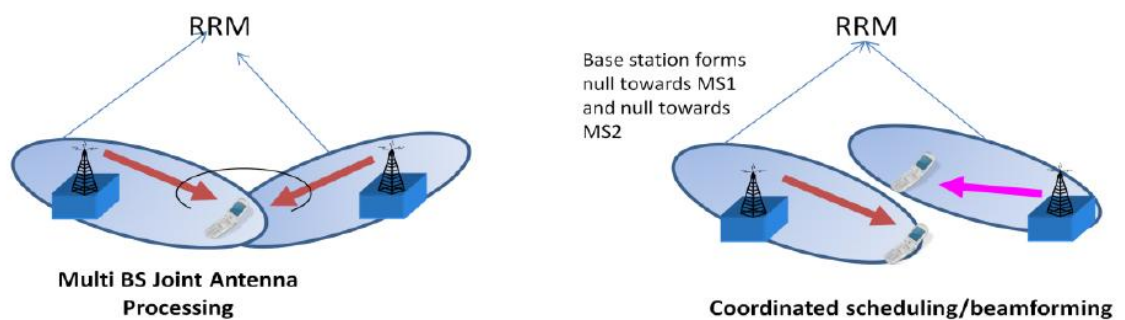
3.2.4 Monitukiasema MIMO- tekniikka

Monitukiasema MIMO- tekniikka parantaa signaalin läpäisyä etenkin solun reunoilla, hyödyntämällä monitukiasema precoding- menetelmää, verkon koordinoima säteen muotoilua tai useamman solun häiriöiden poistamista.

Sekä avoimen että suljetun piirin monitukiasema MIMO- tekniikkaa voidaan käyttää. Suljetun piirin moni-tukiaseman CSI palauttaa koodikirjan kautta äänikanavan palautetta. Palautetta voidaan jakaa muiden tukiasemien kanssa verkkoliitännän kautta.

CoMP on uuden luokan tekniikka siirtojärjestelmissä, ja se vähentää häiriötekijöiden määrää 802.16m järjestelmissä. CoMP mahdollistaa esim. verkon synkronointia, solu- ja käyttäjäkohtaisia koeohjelmia, monisolukanavan tiedonvaihtoa, joita voidaan käyttää häiriöiden lieventämiseen ja mahdolliseen signaalin vahvistukseen. Cooperative MIMO:n

(Co-MIMO) ja Closed- Loop Macro Diversity:n (CL-MD) yhteistyö on yksi mahdollisista vaihtoehdoista. Downlink Co-MIMO: ssa useat tukiasemat lähettävät yhteisiä MIMO-lähetyksiä monille päätelaitteille, jotka sijaitsevat eri soluissa. Jokainen tukiasema tekee usean käyttäjän precoding ja jokainen päätelaite hyödyntää Co-MIMO- tekniikkaa vastaanottamalla monia lähetyksiä eri tukiasemista. Downlink CL-MD:ssa jokainen antenniryhmä jokaisesta tukiasemasta lähettää kapeakaistaista tai laajakaistaista yhden käyttäjän precoding- signaalia, jopa kahdessa itsenäisessä lähetyksessä ja käyttämällä useita tukiasemia. (BP Tiwari 2010.)



KUVIO 10. Monitukiasema MIMO (BP Tiwari 2010.)

Kuviossa 10 on esitetty monitukiasema toimintaa. Päätelaite, joka sijaitsee solureunalla, vastaanottaa signaalia kahdesta eri tukiasemasta.

4 TESTIYMPÄRISTÖ

4.1 Mittalaitteisto

Työssä käytettiin seuraavia mittalaitteita: EB Propsim C8- emulaattori, EB IFU LTE-kiertoelin, testattava laite, tukiasema, 50 Ω - kaapelit.

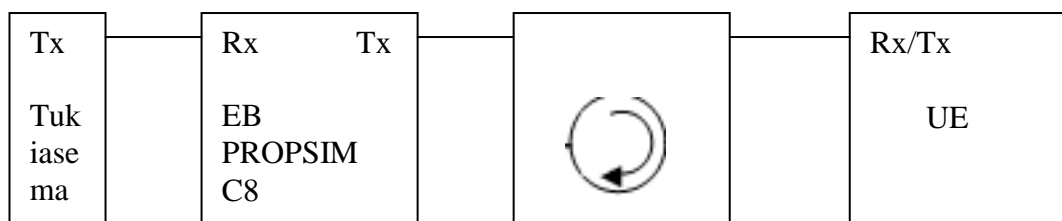
4.2 Testikytkenät

Testauksessa käytetään testikytkenöjä, jotka ovat esitettynä liitteissä 4 ja 9.

Työn tarkoituksena oli luoda 4G- ympäristöön soveltuvat mittaukset EB PROPSIM C8:lla sekä rakentaa mittausympäristö. PROPSIM- emulaattorilla pystytään mallintamaan kanavamallit, joita käytetään mittauksissa, sekä lisäämään AWGN- signaalia kanavamalleihin. PROPSIM- emulaattori helpottaa työn suoritusta, koska yhdellä laitteella pystytään mallintamaan kokonaisia siirtokanavia. Emulaattorin hyöty on se, että testauksia pystytään tekemään laboratorio-olosuhteissa, eikä testattavaa laitetta tarvitse viedä kentälle testattavaksi. PROPSIM: in avulla on mahdollista mallintaa eri olosuhteiden ja kaupunkien kanavamalleja (EB PROPSIM- emulaattorin käyttöohjeet).

Kiertoelin on kolmen tai neljän portin laite, joka toimittaa mikroaallot tai RF- signaalit tiettyyn porttiin. Vaimennus porttien välillä on 0dB. (EB IFU LTE- kiertoelimen käyttöohjeet.)

Testikytkenä PROPSIM- emulaattorilla voisi näyttää kuten kuviossa 11 on esitetty.



Kuvio 11. Testikytkenä PROPSIM- emulaattorilla (mukailten TS 36.508.)

Tukiasemasta lähtevä signaali etenee kaapelia pitkin PROPSIM: in vastaanottoantenniin. PROPSIM- emulaattorissa signaali etenee tiettyä kanavamallia pitkin ja lähtee lähetyksentennin kautta kiertoelimeen. Kiertoelin ohjaa signaalin tiettyyn porttiin. Kiertoelimessä käytetään myös vaimentimia, jotta signaalin tehotaso ei ylityisi, eikä testilaitteet vikaantuisi. Sopivan tasoinen signaali saapuu testattavan laitteen vastaanottoantenniin.

5 TESTIT

5.1 Kanavamallit

Testit suoritettiin päätelaitteelle. Työn tarkoituksena oli luoda 4G-ympäristöön soveltuvat mittaukset Prosimilla. Prosim on emulaattori, jolla pystytään simuloimaan tavallisimmat LTE- ja LTE-Advanced-kanavamallit, kuten Extended Pedestrian (EPA)-, Extended Vehicular (EVA)- ja Extended Typical Urban (ETU)- mallit. Stefania Sesian mukaan, erityisesti kuusi ITU-mallia kattaa laajan viivehajonnan 35 ns:sta 4000 ns:iin. Näiden kuuden mallin lisäksi GSM:n Typical Urban (TU)-malli kuuluu LTE- ja LTE-Advanced-testimalleiksi, jonka suurin viive on 1000 ns:a. (Sesia, Toufik & Baker 2009, 478.)

Kuten Stefania Sesian kirjassa todetaan, EPA-mallilla on pieni viivehajonta. Tätä mallia käytetään kaupunkiympäristössä, jossa solujen koko on hyvin pieni (tai jopa noin 2 km esikaupunkialueella pienellä viivelevityksellä). EVA-A- mallilla on keskisuuri viivelevitys ja ETU-mallilla suuri. ETU-mallin suurin viivelevitys on 500 ns:a, mikä ei ole tyypillistä kaupunkiympäristössä. Mutta se sopii hyvin äärimäisiin kaupunkiolosuhteisiin, esikaupunki- sekä maaseutualueeseen, jotka esiintyvät harvoin ja ovat tärkeitä LTE:n arvioinnissa haastavissa olosuhteissa. (Sesia ym. 2009, 478.)

Taulukossa 4 on esitetty kolmen kanavamallin neliöllisen keskiarvon viivehajonta.

TAULUKKO 4. Viivehajonta (Sesia ym. 2009.)

Kategoria	Kanavamalli	Lyhenne	Viivehajonta
Low delay spread	Extended Pedestrian A	EPA	45
Medium delay spread	Extended Vehicular A model	EVA	357
High delay spread	Extended Typical Urban model	ETU	991

Lisäksi oli päätetty, että laajennetut kanavamallit (Extended Channel models) esiintyvät pienen (5MHz), keskisuuren (70MHz) ja suuren (300MHz) Doppler-siirtymän kanssa. Vastaavasti 2,5 GHz:n taajuusalueella päätelaitteiden nopeudet ovat 2 km/h, 30 km/h ja

150 km/h. Yleensä käytetään seuraavia mallinimityksiä: EPA 5MHz, EVA 5 MHz, EVA 70 MHz ja ETU 70 MHz. Taulukossa 4 on esitetty ITU- mallien tehoviiveiden profiilit. LTE- testauksessa otetaan huomioon myös tapaukset, joissa päätelaitteet liikkuvat suurilla nopeuksilla. Suurnopeuden junan skenaariossa käytetään 300 km/h ja 350 km/h nopeudet erilaisien Doppler- siirtymien kanssa. (Sesia ym. 2009, 479.)

5.2 CQI reporting under fading condition

Verkkojen kehittyessä on tärkeä varmistaa palvelun laatu. Kanavalaatuindeksi (CQI) on tärkein mittasuure LTE-mittauksessa. Kanavalaatuindeksi voi olla taajuus- tai ei-taajuus riippuvainen. (Ajalin 2010, 21.)

5.2.1 Frequency-selective FDD

Taajuusriippuvaisen osakaistan kanavalaatuindeksin (CQI) raportoinnin tarkkuus häipymisolosuhteissa määritellään kahdella prosenttipisteellä, jotka ovat CQI-offset 0-tilan ero per osakaista ja suoritustehon suhteellinen kasvu, kun lähetys tapahtuu satunnaisesti valituilla osakaistoilla, joilla on korkein ilmoitettu CQI-offset tason ero. Tarkoituksena on varmistaa, että valittuja osakaistoja voidaan käyttää taajuusvalikoivassa ajoituksessa. Sisääntulon herkkyys (SNR) otetaan huomioon. Ainakin kahden SNR- tason ero täytyy olla 1 dB.

Kanavan laatuindeksin (CQI) testissä käytetään seuraavaa monitie-etenemisen mallia:

$$h(t, \tau) = \delta(\tau) + a^{(-i*2*f_d*t)} * \delta(\tau - \tau_d) \quad (1)$$

missä τ_d - on viive, a -vakio ja f_d - on Doppler-siirtymä. Täytyy myös ottaa huomioon kolme asiaa. Ensiksi CQI-offset 0-tilan täytyy olla yhtä suuri kuin α [%], mutta pienempi kuin β [%] jokaisella osakaistalla. Toiseksi suoritustehon suhde tarkoittaa lähetyksen satunnaisesti valituilla osakaistoilla, joilla on korkeimpaan CQI- offset tasoon vastaava Transport Block Size (TBS), suhdetta laajakaistaiseen CQI:n keskitasoon. Keskitaso on satunnaisesti valittu osakaista S , joka on $\geq \gamma$. Ja viimeksi, kun signaalia lähetetään satunnaisesti valituilla osakaistoilla, joilla on korkeimmat erot CQI-offset tasoilla ja

vastaavat TBS, BLER- keskiarvon lähetysformaatin on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin 0,05.

Vaatimukset pätevät vain täysikokoisille osakaistoille ja satunnainen ajoitus osakaistojen yli tapahtuu valitsemalla uusi osakaista jokaiselle lähetysvälille (TTI).

Testi suoritetaan keskitaajuuksilla, normaaleissa testiolosuhteissa. Kanavien kaistanleveys on 10 MHz.

Testikytkentä 1 on standardin TS 36.508 mukainen ja on esitetty liitteessä 12. Testiparametrit löytyvät samasta liitteestä. Testi aloitetaan kytkemällä signaalin lähde PROPSIM-emulaattoriin ja emulaattorista ulostulokaapeli testattavaan laitteeseen. Asetetaan kaistanleveys, etenemiskanavamallin parametrit, antenniasetukset ja tarkistettavan kanavan asetukset. System Simulator (SS) lähettää signaalin Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)- kanavalla, käyttämällä Physical Downlink Control Channel (PDCCH) Downlink Control Information (DCI)-1A-formaattia. SS myös ajoittaa Uplink (UL)- lähetystä 5ms:n välein, lähettämällä Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) CQI- palautetta. CQI- palautteen arvo on 1, Modulation and Coding Scheme (MCS) on 29 ja Physical Resource Block (PRB) on suurempi tai yhtä suuri kuin 4.

Seuraavassa vaiheessa lasketaan mediaanin arvo. Laajakaistainen CQI- mediaani on mediaani, joka alittaa tai ylittää alempana olevan CQI-puolisivua.

CQI- raporttien lukumäärän indeksillä 0 täytyy jokaisella täysikokoisella osakaistalla olla suurempi tai yhtä suuri kuin $(2000 * \alpha \%) / 100$, ja pienempi tai yhtä suuri kuin $(2000 * \beta \%) / 100$. Lopussa lasketaan keskimääräinen läpimeno t_{median} . Lasketaan myös NACK-, ACK- , statDTX- lukumäärä ja keskimääräinen läpimeno $t_{subband}$. Jos $(t_{median} / t_{subband})$ - suhde on suurempi tai yhtä suuri, kuin γ ja $(NACK / (ACK + NACK))$ on suurempi tai yhtä suuri kuin 0,05, niin testattava laite läpäisee testin. Muuten, jos molemmat SNR- pisteet eivät ole testattuja, niin täytyy toistaa sama menettely toiselle SNR- pisteelle. (TS 36.521-1 v.9.0.0- standardi.)

5.2.2 Frequency-selective TDD

Taajuusriippuvaisen TDD- dupleksin testi suoritetaan standardin TS 36.521 v9.0.0 mukaisesti. Testiparametrit on esitetty liitteessä 5. Etenemiskanavamalliksi valitaan sama malli, kuin FDD-dupleksissa, eli kaava (1). Muut testiparametrit ja vähimmäisvaatimukset testin läpäisemiseksi on esitetty liitteessä 5.

Testi aloitetaan yhdistämällä signaalin lähde, PROPSIM- emulaattori, kiertoelin ja testattava laite toisiinsa. Testikytkentä 1 on esitetty liitteessä 12 ja on standardin TS 36.508- mukainen. Tarkistettava on, että testattava laite on tilassa 4. Testi suoritetaan, kuten FDD- tilassa. (TS 36.521 v.9.0.0- standardi.)

5.2.3 Frequency non-selective FDD

Kanavalaatuindeksin (CQI) raportoinnin tarkkuus ei-taajuusriippuvaisessa häipymisolosuhteissa määritetään CQI:n raportin kaksipuolisella prosenttipisteellä. Suoritustehon suhteellinen kasvu määritetään, kun lähetetty lähetysformaatti on osoitettu CQI:n raportissa ja vertailtu tilanteeseen, jossa kiinteä lähetysformaatti on määritelty CQI:n raportin keskitason mukaan, joka oli jo lähetetty. Lisäksi raportin tarkkuus on määritelty BLER- minimin mukaan, käyttämällä CQI-raportissa osoitettuja lähetysformaatteja.

Tarkoituksena on tarkistaa, että UE seuraa kanavavaihtelua ja valitsee suurimman lähetysformaatin valitun kanavatilan mukaan ei-taajuusvalikoivassa ajoituksessa. Voidaan myös ottaa huomioon sisääntulon herkkyys (SNR). CQI:n raportoinnin tarkkuuden ei-taajuusvalikoivassa häipymisolosuhteissa on oltava yhden kahdesta SNR-tasoista erotettuna toisistaan 1 dB:n offsetilla. (Standardi TS 36.101 v10.2.0.)

FDD-testauksessa on otettava huomioon myös seuraavat kolme seikkaa. Ensiksi CQI:n indeksi ei ole asetettu (mediaani CQI-1 ja CQI+1), mutta sen täytyy olla raportoituna vähintään α % -ajasta. Toiseksi suoritustehon suhde saadaan, kun lähetetty lähetysformaatti on asetettu jokaisen raportoidun laajakaistaisen CQI-indeksin mukaan. Tämä lähetetty kiinteä lähetysformaatti määritetään laajakaistaisen CQI-mediaanin mukaan, joka on suurempi tai yhtä suuri kuin γ . Ja viimeksi kun lähetetty lähetysformaatti määritetään, jokaisen laajakaistaisen CQI-indeksin mukaisen BLER-keskiarvon täytyy olla suurempi tai yhtä suuri kuin 0,02.

Testiparametrit on esitetty liitteessä 6 ja kanavamallia käytetään liitteen 2 mukaan. Vähimmäisvaatimukset on esitetty liitteessä 6.

Testi aloitetaan tekemällä TS 36.508 standardin mukainen kytkentä, joka on esitetty liitteessä 12. Sitten kytketään signaalin lähde PROPSIM-emulaattoriin, emulaattorista ulostulokaapeli kytketään kiertoelimen kautta testattavaan laitteeseen. Asetetaan kaistanleveys, etenemiskanavamallin parametrit, antenniasetukset ja tarkistettavan kanavan

asetukset. SS lähettää signaalia PDSCH- kanavalla, käyttämällä PDCCH DCI- 1A- formaattia. Asetetaan suhteellinen taajuusalue raportoiduille CQI- arvoille. Lasketaan mediaanin arvo. Laajakaistainen CQI- mediaani on mediaani, joka on ylempänä tai alempana laajakaistaista CQI- pienempää puolisivua. Laajakaistaisten CQI- arvojen täytyy olla pienempiä kuin $[(100-\alpha)/100*2000]$. Samalla, (mediaani CQI-1) on pienempi tai yhtä suuri kuin (mediaani CQI) ja (mediaani CQI) on pienempi tai yhtä suuri kuin (mediaani CQI+1). Lasketaan t_{median} , joka on keskimääräinen läpimeno ajalla, jolloin testattava laite saavuttaa vähimmäisvaatimuksia testin läpäisemiseksi. Seuraavaksi täytyy laskea $t_{wideband}$, joka tarkoittaa keskimääräistä läpimenoa, kun SS lähettää PDSCH- signaalia testattavan laitteen CQI- vastauksen perusteella. Lasketaan myös NACK, ACK ja statDTX- vastauksien määrä. Jos $(t_{wideband} / t_{median})$ on isompi tai yhtä suuri, kuin γ , ja $(NACK / (ACK + NACK))$ on isompi tai yhtä suuri kuin 0,2, niin testattava laite läpäisee testin. Muuten, jos molemmat SNR- pisteet eivät olleet testattuja, niin täytyy toistaa sama menettely toiselle SNR- pisteelle. (TS 36.521 v.9.0.0.- standardi.)

5.2.4 Frequency non-selective TDD

Tämä testi tarkoittaa kanavalaatumerkin (CQI) raportoinnin tarkkuutta ei-taajuusvalikoivissa häipymisolosuhteissa. Testin tarkoitus sekä huomioitavat seikat ovat samanlaiset, kun aiemmassa FDD-testissä.

Testiparametrit on esitetty liitteessä 7, kanavamalli liitteessä 2 ja vähimmäisvaatimukset liitteessä 7.

Testi aloitetaan tekemällä TS 36.508 standardin mukainen kytkentä 1 (LIITE 12). Sitten kytketään signaalin lähde PROPSIM-emulaattoriin, emulaattorista ulostulokaapeli kytketään kiertoelimen kautta testettavaan laitteeseen. Asetetaan kaistanleveys, etenemiskanavamallin parametrit, antenniasetukset sekä tarkistettavan kanavan asetukset.

SS lähettää signaalia PDSCH- kanavaa pitkin ja vastaanottaa CQI- raporttia PUSCH- kanavan kautta viiden ms:n välein. Raporttien lukumäärän täytyy olla 2000. Lasketaan t_{median} , joka on keskimääräinen läpimeno ajalla, jolloin testattava laite saavuttaa vähimmäisvaatimukset testin läpäisemiseksi. Seuraavaksi täytyy laskea $t_{wideband}$, joka tarkoittaa keskimääräistä läpimenoa, kun SS lähettää PDSCH- signaalia testettavaan laitteeseen CQI- vastauksien perusteella. Lasketaan myös NACK, ACK ja statDTX-

vastauksien määrä. Jos ($t_{wideband} / t_{median}$) on suurempi tai yhtä suuri kuin γ , ja (NACK / (ACK + NACK))- suhde on isompi tai yhtä suuri kuin 0,2, niin testettava laite läpäisee testin. Muuten, jos molemmat SNR- pisteet eivät olleet testattuja, niin sama menettely toistetaan toiselle SNR- pisteelle. (TS 36.521 v.9.0.0- standardi.)

5.3 Demodulation of PDSCH (Cell-Specific Reference Symbols)

Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) on fyysinen yhteinen siirtokanava, jota käytetään käyttäjän tietojen ja ohjausinformaation (kuten paging-viestit) lähettämiseen kaikille samalla toiminta-alueella sijaitseville päätelaitteille. (TS 36.521 v.9.0.0- standardi.) PDSCH- kanavan kautta lähetetty data mitataan liikennelohkoina (transport blocks) (Sesia ym. 2009, 184).

5.3.1 Single-antenna port performance

Yhden antennin suorituskyky monitiehäipymisolosuhteissa määräytyy SNR:n avulla. Tämän testin tarkoitus on varmistaa yhden antennin suorituskyky käyttämällä eri kanavamallia ja MCS:ää. QPSK ja 64QAM- tapauksissa täytyy myös tarkistaa kaikki kaistanleveydet taulukosta E-UTRA channel bandwidth esitety liitteessä 8.

Testi suoritetaan sekä TDD:ssa että FDD:ssa ja normaaleissa testiolosuhteissa. Testiparametrit sekä vähimmäisvaatimukset on esitetty liitteessä 8. Etenemiskanavamalli on esitetty liitteessä 2.

Liitteessä 12 esitetyssä testikytkennässä 1 käytetään signaalin lähdettä, PROPSIM- emulaattoria, kiertoelintä ja testattavaa laitetta. Alussa asetetaan taajuusparametrit, kanavamalli, etenemisolosuhteet, korrelaatiomatriisit ja SNR. Testissa lasketaan keskimääräinen läpimeno ajalla, jolla vähimmäisvaatimuksia saavutetaan. Lasketaan myös NACK-, ACK- ja statDTX- määrät. Samaa menettely toistetaan muillekin testeille. (TS 36.521 v.9.0.0- standardi.)

5.3.2 Transmit diversity performance

Transmit diversity eli lähetyksdiversiteettiä käytetään häipymän pienentämiseksi olosuhteissa, joissa suurempien antennien käyttö, lähetinvastaanottimen tehon nostaminen ja vastaanottimen SNR:n parantaminen ei ole suositeltavaa taloudellisista syistä.

Tämän testin tarkoituksena on tarkistaa kahdella lähetyksantennilla lähetyksdiversiteetin suorituskyky.

Testikytkentä 2 on esitetty liitteessä 12. Testi suoritetaan TS 36.521- standardin mukaisesti. Alussa asetetaan taajuusparametrit, kanavamallit, etenemisolosuhteet, korrelaatiomatriisit ja SNR. Lasketaan keskimääräinen läpimeno ajalle, jolla vähimmäisvaatimukset saavutetaan. Lasketaan myös NACK-, ACK- ja statDTX- arvot. Samaa menettelyä toistetaan muillekin lähetyksdiversiteetti- testeille. (TS 36.521 v.9.0.0.) Testiparametrit ja vähimmäisvaatimukset FDD- ja TDD- tilatesteille on esitetty liitteessä 9. (TS 36.521 v.9.0.0- standardi.)

5.3.3 Open- loop spatial multiplexing performance

Tämän testin tarkoituksena on testata UE:n kykyä vastaanottaa ennalta määritettyä testisignaalia monitiehäipymisolosuhteissa. Monitiehäipymiskanava määritetään SNR:n avulla. Informaatiobitin läpimeno kahden antennien lähetyksessä ilmoitetaan prosentteina.

Testin suoritukseen tarvitaan signaalin lähde, PROPSIM- emulaattori, testettavaa laiteetta. Testikytkentä 2 on TS 36.508- standardin mukainen ja esitetty liitteessä 12.

Testin alkuvaiheessa asetetaan taajuusparametrit, kanavamallit, etenemisolosuhteet, korrelaatiomatriisit ja SNR. Lasketaan keskimääräinen läpimeno ajalle, jolla vähimmäisvaatimuksia testin läpäisemiseksi saavutetaan. Lasketaan NACK-, ACK- ja statDTX- arvot. Samaa menettelyä toistetaan muillekin avoin silmukan testeille. (TS 36.521 v.9.0.0.) Testiparametrit ja vähimmäisvaatimukset FDD- ja TDD- tilatesteille on esitetty liitteessä 10.

5.3.4 Closed- loop spatial multiplexing performance

Tämän testin tarkoituksena on testata UE:n kykyä vastaanottaa ennalta määritetty testisignaalia monitiehäpymisolosuhteissa. Signaali lähetetään kahdella lähetysantennilla, käyttämällä suljetun piirin tilakanavointia.

On olemassa kaksi suljetun piirin tilakanavointia: single- layer spatial multiplexing eli yksikerroksinen tilakanavointi ja multi- layer spatial multiplexing eli monikerroksinen tilakanavointi.

Testi suoritetaan normaaleissa testiolosuhteissa. Testikytkentä 2 on esitetty liitteessä 12. Testin suorittamiseen tarvitaan signaalin lähettä (tukiasemaa), PROPSIM- emulaattoria, joka mallintaa kanavamallia ja häpymisolosuhteita, sekä testattavaa laitetta. Asetetaan testiparametrit, soluparametrit, korrelaatiomatriisit ja etenemiskanavamalli TS 36.521 v.9.0.0- standardin mukaisesti. Testettavan laitteen täytyy olla 3A- tilassa, kuten standardissa TS 36.508 mainitaan. Mitataan keskimääräinen läpimeno ajalle, jolla vähimmäisvaatimuksia testin läpäisemiseksi saavutetaan. Lasketaan NACK-, ACK- ja statDTX- vastauksien määrä, verrataan vastauksien määrä vähimmäisvaatimukseen testin läpäisemiseksi ja päätetään pääseekö testattava laite testin läpi. Toistetaan sama menettely jokaiselle testiaikavälille liitteen 11 mukaisesti. (TS 36.521-1 v.9.0.0- standardi.)

6 YHTEENVETO

Työn alkuvaiheessa tutustuttiin radiokanavan ominaisuuksiin, sekä niiden vaikutuksiin tiedonsiirtoon. Langattomassa tiedonsiirrossa signaalit etenevät radiokanavaa pitkin ja kohtaavat erilaisia esteitä, kuten talojen seinät, heijastavia pintoja, myös sumu ja sade aiheuttavat ongelmia tiedonsiirrossa. Monitie-etenemisen takia signaalit saapuvat vastaanottiin eri aikaan ja eri vaihekulmassa. Laitteiden ja verkkojen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kaikki ne asiat, jotka aiheuttavat signaalin vääristymistä langattomassa siirtotiessä.

Työn aiheena oli 4G- mittaukset, sen takia työssä selvitettiin mikä on 4G- tekniikka ja mitä teknologioita se käyttää. Standardointijärjestelmien mukaan LTE- Advanced ja WiMAX 2.0 täyttävät 4G- verkon asettamat vaatimukset.

Lähdeaineiston etsimiseen meni suurin osa työhön käytetystä ajasta. Koska 4G-tekniikka on hyvin uutta tekniikkaa, niin painettua tietoa ei ollut juurikaan saatavissa. Suurin osa lähdeaineistoista oli Internetistä saatavia tietoja. Tutkimalla eri sähköisessä muodossa olevaa tietoa päästiin aiheeseen kiinni.

Lisäksi tutkittiin eri standardeja ja etsittiin sopivia 4G-mittaukseen. Kaikki standardiaineisto oli englannin kielellä ja todella vaikeaselkoista. Mittauksia tässä vaiheessa ei ole tehty, koska testattavia laitteita ei ollut saatavissa. Mittaukset piti tehdä käyttämällä EB PROPSIM C8- emulaattoria, joka pystyy simuloimaan kokonaisia radiokanavia ja mahdollistaa testauksien suorittamista laboratorio- olosuhteissa.

Työ tehtiin Centria T&K tilauksesta ja aikataulun mukaan. Kokonaisuudessaan aikaa kului kolme kuukautta. Työn aihe oli kiinnostava ja ajankohtainen.

LÄHTEET

- Agilent technology. 2010. 4G LTE- Advanced Technology Overview. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?cc=FI&lc=fin&ckey=1905163&nid=-33796.0.00&id=1905163> . Luettu 27.04.2011.
- Ajalin, L. 2010. LTE- mittaukset ja –mittalaitteet. Metropolia Ammattikorkeakoulu Helsingin yksikkö, tietotekniikka ja tietoliikenne, insinööriyö. Pdf- tiedosto. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23527/LTE-mi.pdf?sequence=1> . Luettu 2.05.2011.
- EB PROPSIM C8- emulaattorin ohjeet. Elektrobit Oy.
- EB IFU LTE- ohjeet. Elektrobit Oy.
- Geier, J. 2005. Langattomat verkot. Perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Granlund, K. 2001. Langaton tiedonsiirto. 1. painos. Jyväskylä: Docendo Finland Oy.
- Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. 1.painos. Jyväskylä: WSOYpro/Docendo-tuotteet.
- Honkanen, H. 2011. Kohina. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Oppimateriaalit. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/KOHINA.pdf> . Luettu 27.04.2011.
- Juutilainen, M. 2007. Radiotekniikan perusteet: Signaalien eteneminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Siirtyvä tietoliikenne- luentokalvot. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www2.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf> . Luettu 27.04.2011.
- Kerttula, E. 2008. 3G/4G- teknologiaroadmap. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Telematiikka-2008. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www2.it.lut.fi/kurssit/08-09/CT30A3600/Verkkomateriaali-2009/Day1/3g-4g-teknologia-roamap.pdf> . Luettu 27.04.2011.
- Kottkamp, M. 2010. LTE- Advanced. Technology Introduction. White Paper. Rohde&Schwarz. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www2.rohde-schwarz.com/file_13924/1MA169_2E.pdf . Luettu 27.04.2011.
- Mikhaylov, P. 2010. Besprovodnaja tehnologia 4G. WINLINE.RU 22.06.2010. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.winline.ru/articles/6767.php> . Luettu 27.04.2011.
- Ojanperä, V. 2011. 3D-video siirtyy helposti 4G-verkossa. Prosessori-lehden artikkeli. 16.03.2011. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.prosessori.fi/uutiset/uutinen2.asp?id=57503> . Luettu 27.04.2011.

Ojanperä, V. 2010. Seuraavan polven GPS löytää ihmiset. Proessori- lehden artikkeli. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.proessori.fi/uutiset/uutinen2.asp?id=56442> . Luettu 27.04.2011.

Peltoniemi, J. 2009. Paikantimien signaalinkäsittelyyn parannuksia. Proessori- lehden artikkeli. Www- dokumentti. Saatavissa:

<http://www.proessori.fi/uutiset/uutinen2.asp?id=54442>. Luettu: 27.04.2011.

Sesia,S., Toufik,I. & Baker,M. 2009. LTE. The UMTS Long Term Evolution. From theory to practice. 1. painos. John Wiley & Sons Ltd.

Resources and analysis for electronics engineers. 2011. 4G LTE- Advanced Relay. Radio-electronics.com-tutorial. Www- dokumentti. Saatavissa:

<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3gpp-4g-imt-lte-advanced-tutorial.php> . Luettu 27.04.2011.

Tiwari, BP. 2010. WiMAX 2.0 for Operators. Pdf- tiedosto. Saatavissa:

<http://www.wimax.com/whitepapers/bp-tiwari-wimax-20-for-operators.pdf> . Luettu 27.04.2011.

3GPP TS 36.101 v.10.2.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. 3GPP- telecommunication standards. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/36101.htm> . Luettu 27.04.2011.

3GPP TS 36.508 v.9.4.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Packet Core (EPC); Common test environments for User Equipment (UE) conformance testing. 3GPP- telecommunication standards. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/36508.htm> . Luettu 27.04.2011.

3GPP TS 26.521-1 v.9.0.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E- UTRA); Use Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 1: Conformance testing. 3GPP- telecommunication standards. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/36521-1.htm> . Luettu 27.04.2011.

4G Americas. 2011. 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and Beyond. HSPA+, SAE/LTE and LTE- Advanced. Pdf-tiedosto. Saatavissa:

http://www.3gamericas.org/documents/4G%20Americas_3GPP_Rel-10_Beyond_2.1.11%20.pdf . Luettu 27.04.2011.

E-UTRA käyttöalueet

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F _{UL_low} – F _{UL_high}	F _{DL_low} – F _{DL_high}	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
6 [†]	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
15	Reserved	Reserved	FDD
16	Reserved	Reserved	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz – 1462.9 MHz	1495.9 MHz – 1510.9 MHz	FDD
...			
24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
42	3400 MHz – 3600 MHz	3400 MHz – 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz – 3800 MHz	3600 MHz – 3800 MHz	TDD

Note 1: Band 6 is not applicable

Viivehajonta

Model	Number of channel taps	Delay spread (r.m.s.)	Maximum excess tap delay (span)
Extended Pedestrian A (EPA)	7	45 ns	410 ns
Extended Vehicular A model (EVA)	9	357 ns	2510 ns
Extended Typical Urban model (ETU)	9	991 ns	5000 ns

Extended Pedestrian A model (EPA)

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.0
70	-2.0
90	-3.0
110	-8.0
190	-17.2
410	-20.8

Extended Vehicular A model (EVA)

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.5
150	-1.4
310	-3.6
370	-0.6
710	-9.1
1090	-7.0
1730	-12.0
2510	-16.9

Extended Typical Urban model (ETU)

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	-1.0
50	-1.0
120	-1.0
200	0.0
230	0.0
500	0.0
1600	-3.0
2300	-5.0
5000	-7.0

Kanavamalliyhdistelmät

Model	Maximum Doppler frequency
EPA 5Hz	5 Hz
EVA 5Hz	5 Hz
EVA 70Hz	70 Hz
ETU 70Hz	70 Hz
ETU 300Hz	300 Hz

ITU-kanavamallit

Tap number	EPA model		EVA model		ETU model	
	Excess tap delay (ns)	Relative power(dB)	Excess tap delay(ns)	Relative power(dB)	Excess tap delay(ns)	Relative power(dB)
1	0	0.0	0	0.0	0	-1.0
2	30	-1.0	30	-1.5	50	-1.0
3	70	-2.0	150	-1.4	120	-1.0
4	80	-3.0	310	-3.6	200	0.0
5	110	-8.0	370	-0.6	230	0.0
6	190	-17.2	710	-9.1	500	0.0
7	410	-20.8	1090	-7.0	1600	-3.0
8			1730	-12.0	2300	-5.0
9			2510	-16.9	5000	-7.0

Frequency-selective FDD

Testiparametrit (FDD)

Parameter	Unit	Test 1		Test 2	
Bandwidth	MHz	10 MHz			
Transmission mode		1 (port 0)			
SNR (Note 3)	dB	9	10	14	15
$\hat{I}_{or}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-89	-88	-84	-83
$N_{oc}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-98		-98	
Propagation channel		Clause B.2.4 with $\tau_d = 0.45 \mu\text{s}$, $a = 1$, $f_D = 5 \text{ Hz}$			
Antenna configuration		1 x 2			
Reporting interval	ms	5			
CQI delay	ms	8			
Reporting mode		PUSCH 3-0			
Sub-band size	RB	6 (full size)			
Max number of HARQ transmissions		1			
<p>Note 1: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on CQI estimation at a downlink subframe not later than SF#(n-4), this reported subband or wideband CQI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)</p> <p>Note 2: Reference measurement channel according to Table A.4-4 with one/two sided dynamic OCNG Pattern OP.1/2 FDD as described in Annex A.5.1.1/2.</p> <p>Note 3: For each test, the minimum requirements shall be fulfilled for at least one of the two SNR(s) and the respective wanted signal input level.</p>					

Vähimmäisvaatimukset (FDD)

	Test 1	Test 2	
α [%]	2	2	
β [%]	55	55	
γ	1.1	1.1	
UE Category	1-5	1-5	

Transport format corresponding for each CQI index for 6 PRB allocation

CQI index	Modulation	Target code rate	lmcs	Information Bit Payload (Subframes 1,2,3,4,6,7,8,9)	Binary Channel Bits Per Sub-Frame (Subframes 1,2,3,4,6,7,8,9)	Actual Code rate
0	out of range	out of range	DTX	-	-	-
1	QPSK	0.0762	0	152	1512	0.1005
2	QPSK	0.1172	0	152	1512	0.1005
3	QPSK	0.1885	2	256	1512	0.1693
4	QPSK	0.3008	4	408	1512	0.2698
5	QPSK	0.4385	6	600	1512	0.3968
6	QPSK	0.5879	8	808	1512	0.5344
7	16QAM	0.3691	11	1032	3024	0.3413
8	16QAM	0.4785	13	1352	3024	0.4471
9	16QAM	0.6016	16	1800	3024	0.5952
10	64QAM	0.4551	19	2152	4536	0.4744
11	64QAM	0.5537	21	2600	4536	0.5732
12	64QAM	0.6504	23	2984	4536	0.6578
13	64QAM	0.7539	25	3496	4536	0.7707
14	64QAM	0.8525	27	3752	4536	0.8272
15	64QAM	0.9258	27	3752	4536	0.8272

Note1: Sub-frame#0 and #5 are not used for the corresponding requirement.

Reference channel for CQI requirements (FDD) 6 PRB allocation

Parameter	Unit	Value					
		1.4	3	5	10	15	20
Channel bandwidth	MHz	1.4	3	5	10	15	20
Allocated resource blocks		6	6	6	6	6	6
Subcarriers per resource block		12	12	12	12	12	12
Allocated subframes per Radio Frame		8	8	8	8	8	8
Modulation					Table A.4-6		
Target coding rate					Table A.4-6		
Number of HARQ Processes	Processes	8	8	8	8	8	8
Maximum number of HARQ transmissions		1	1	1	1	1	1

Note 1: 3 symbols allocated to PDCCH
 Note 2: Only subframes 1,2,3,4,6,7,8, and 9 are allocated to avoid PBCH and synchronization signal overhead

Frequency-selective TDD

Testiparametrit (TDD)

Parameter	Unit	Test 1		Test 2	
Bandwidth	MHz	10MHz			
Transmission mode		1 (port 0)			
Uplink downlink configuration		2			
Special subframe configuration		4			
SNR	dB	9	10	14	15
$\hat{I}_{or}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-89	-88	-84	-83
$N_{oc}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-98		-98	
Propagation channel		Lauseke 1, missä $\tau_d = 0.45 \mu s$, $a=1$, $fd=5$ Hz			
Antenna configuration		1x2			
Reporting interval	ms	5			
CQI delay	Ms	10 tai 11			
Reporting mode		PUSCH 3-0			
Sub band size	RB	6 (full size)			
ACK/NACK feedback mode		Multiplexing			

Vähimmäisvaatimukset (TDD)

	Test 1	Test 2	
α [%]	2	2	
β [%]	55	55	
γ	1.1	1.1	
UE Category	1-5	1-5	

Reference channel for CQI requirements (TDD) 6 PRB allocation

Parameter	Unit	Value					
Channel bandwidth	MHz	1.4	3	5	10	15	20
Allocated resource blocks		6	6	6	6	6	6
Subcarriers per resource block		12	12	12	12	12	12
Allocated subframes per Radio Frame		4	4	4	4	4	4
Modulation					Table A.4-6		
Target coding rate					Table A.4-6		
Number of HARQ Processes	Processes	10	10	10	10	10	10
Maximum number of HARQ transmissions		1	1	1	1	1	1
Note 1:	3 symbols allocated to PDCCH						
Note 2:	UL-DL configuration 2 is used and only subframes 3, 4, 8, and 9 are allocated to avoid PBCH and synchronization signal overhead						

Frequency non-selective FDD

Testiparametrit (FDD)

Parameter	Unit	Test 1		Test 2	
Bandwidth	MHz	10 MHz			
Transmission mode		1 (port 0)			
SNR (Note 3)	dB	6	7	12	13
$\hat{I}_{or}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-92	-91	-86	-85
$N_{oc}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-98		-98	
Propagation channel		EPA5			
Correlation and antenna configuration		High (1 x 2)			
Reporting mode		PUCCH 1-0			
Reporting periodicity	ms	$N_p = 2$			
CQI delay	ms	8			
Physical channel for CQI reporting		PUSCH (Note 4)			
PUCCH Report Type		4			
<i>cqi-pmi-ConfigurationIndex</i>		1			
Max number of HARQ transmissions		1			
<p>Note 1: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on CQI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported wideband CQI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)</p> <p>Note 2: Reference measurement channel according to Table A.4-1 for Category 2-5 with one sided dynamic OCNG Pattern OP.1 FDD as described in Annex A.5.1.1 and Table A.4-7 for Category 1 with one/two sided dynamic OCNG Pattern OP.1/2 FDD as described in Annex A.5.1.1/2.</p> <p>Note 3: For each test, the minimum requirements shall be fulfilled for at least one of the two SNR(s) and the respective wanted signal input level.</p> <p>Note 4: To avoid collisions between CQI reports and HARQ-ACK it is necessary to report both on PUSCH instead of PUCCH. PDCCH DCI format 0 shall be transmitted in downlink SF#1, #3, #7 and #9 to allow periodic CQI to multiplex with the HARQ-ACK on PUSCH in uplink subframe SF#5, #7, #1 and #3.</p>					

Vähimmäisvaatimukset (FDD)

	Test 1	Test 2	
α [%]	20	20	
γ	1.05	1.05	
UE Category	1-5	1-5	

Frequency non-selective TDD

Testiparametrit (TDD)

Parameter	Unit	Test 1		Test 2	
Bandwidth	MHz	10 MHz			
Transmission mode		1 (port 0)			
Uplink downlink configuration		2			
Special subframe configuration		4			
SNR (Note 3)	dB	6	7	12	13
$\hat{I}_{or}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-92	-91	-86	-85
$N_{oc}^{(j)}$	dB[mW/15kHz]	-98		-98	
Propagation channel		EPA5			
Correlation and antenna configuration		High (1 x 2)			
Reporting mode		PUCCH 1-0			
Reporting periodicity	ms	$N_P = 5$			
CQI delay	ms	10 or 11			
Physical channel for CQI reporting		PUSCH (Note 4)			
PUCCH Report Type		4			
<i>cqi-pmi-ConfigurationIndex</i>		3			
Max number of HARQ transmissions		1			
ACK/NACK feedback mode		Multiplexing			
<p>Note 1: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on CQI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported wideband CQI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)</p> <p>Note 2: Reference measurement channel according to Table A.4-2 for Category 2-5 with one sided dynamic OCNG Pattern OP.1 TDD as described in Annex A.5.2.1 and Table A.4-8 for Category 1 with one/two sided dynamic OCNG Pattern OP.1/2 TDD as described in Annex A.5.2.1/2.</p> <p>Note 3: For each test, the minimum requirements shall be fulfilled for at least one of the two SNR(s) and the respective wanted signal input level.</p> <p>Note 4: To avoid collisions between CQI reports and HARQ-ACK it is necessary to report both on PUSCH instead of PUCCH. PDCCH DCI format 0 shall be transmitted in downlink SF#3 and #8 to allow periodic CQI to multiplex with the HARQ-ACK on PUSCH in uplink subframe SF#7 and #2.</p>					

Vähimmäisvaatimukset (TDD)

	Test 1	Test 2	
α [%]	20	20	
γ	1.05	1.05	
UE Category	1-5	1-5	

Single-antenna port performance

Testiparametrit

Parameter		Unit	Test 1- 5	Test 6- 8	Test 9- 15	Test 16- 18
Downlink power allocation	ρ_A	dB	0	0	0	0
	ρ_B	dB	0 (Note 1)	0 (Note 1)	0 (Note 1)	0 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98	-98	-98	-98
Symbols for unused PRBs			OCNG (Note 2)	OCNG (Note 2)	OCNG (Note 2)	OCNG (Note 2)
Modulation			QPSK	16QAM	64QAM	16QAM
Note 1: $P_B = 0$ Note 2: These physical resource blocks are assigned to an arbitrary number of virtual UEs with one PDSCH per virtual UE; the data transmitted over the OCNG PDSCHs shall be uncorrelated pseudo random data, which is QPSK modulated.						

Vähimmäisvaatimukset

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.2 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	-1.0	1-5
2	10 MHz	R.2 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	70	-0.4	1-5
3	10 MHz	R.2 FDD	OP.1 FDD	ETU300	1x2 Low	70	0.0	1-5
4	10 MHz	R.2 FDD	OP.1 FDD	HST	1x2 Low	70	-2.4	1-5
5	1.4 MHz	R.4 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	-0.5	1-5
6	10 MHz	R.3 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	6.7	2-5
7	10 MHz	R.3 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	30	1.4	2-5
8	10 MHz	R.3 FDD	OP.1 FDD	ETU300	1x2 High	70	9.4	2-5
9	3 MHz	R.5 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	17.6	1-5
10	5 MHz	R.6 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	17.4	2-5
11	10 MHz	R.7 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	17.7	2-5
12	10 MHz	R.7 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	70	19.0	2-5
13	10 MHz	R.7 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 High	70	19.1	2-5
14	15 MHz	R.8 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	17.7	2-5
15	20 MHz	R.9 FDD	OP.1 FDD	EVA5	1x2 Low	70	17.6	3-5
16	3 MHz	R.0 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	30	1.9	1-5
17	10 MHz	R.1 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	30	1.9	1-5
18	20 MHz	R.1 FDD	OP.1 FDD	ETU70	1x2 Low	30	1.9	1-5

E-UTRA channel bandwidth

E-UTRA band / channel bandwidth						
E-UTRA Band	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
1			Yes	Yes	Yes	Yes
2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]
3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]
4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5	Yes	Yes	Yes	Yes ^[1]		
6			Yes	Yes ^[1]		
7			Yes	Yes	Yes	Yes ^[1]
8	Yes	Yes	Yes	Yes ^[1]		
9			Yes	Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]
10			Yes	Yes	Yes	Yes
11			Yes	Yes ^[1]		
12	Yes	Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]		
13			Yes ^[1]	Yes ^[1]		
14			Yes ^[1]	Yes ^[1]		
...						
17			Yes ^[1]	Yes ^[1]		
18			Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]	
19			Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]	
20			Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]	Yes ^[1]
21			Yes	Yes ^[1]	Yes ^[1]	
...						
24			Yes	Yes		
...						
33			Yes	Yes	Yes	Yes
34			Yes	Yes	Yes	
35	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
36	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
37			Yes	Yes	Yes	Yes
38			Yes	Yes	Yes	Yes
39			Yes	Yes	Yes	Yes
40			Yes	Yes	Yes	Yes
41			Yes	Yes	Yes	Yes
42			Yes	Yes	Yes	Yes
43			Yes	Yes	Yes	Yes

NOTE 1: bandwidth for which a relaxation of the specified UE receiver sensitivity requirement (Clause 7.3) is allowed.

Transmit diversity performance

Testiparametrit (TDD)

Parameter		Unit	Test 1-2
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
ACK/NACK feedback mode			Multiplexing
Note 1: $P_B = 1$			

Vähimmäisvaatimukset (TDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.11 TDD	OP.1 TDD	EVA5	2x2 Medium	70	6.8	2-5
	5 MHz	R.11-2 TDD	OP.1 TDD	EVA5	2x2 Medium	70	6.8	1
2	10 MHz	R.10 TDD	OP.1 TDD	HST	2x2 Low	70	-2.3	1-5

Testiparametrit (FDD)

Parameter	Unit	Test 1-2	
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
Note 1: $P_B = 1$			

Vähimmäisvaatimukset (FDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.11 FDD	OP.1 FDD	EVA5	2x2 Medium	70	6.8	2-5
	5 MHz	R.11-2 FDD	OP.1 FDD	EVA5	2x2 Medium	70	5.9	1
2	10 MHz	R.10 FDD	OP.1 FDD	HST	2x2 Low	70	-2.3	1-5

Open-loop spatial multiplexing performance

Testiparametrit (FDD)

Parameter		Unit	Test 1
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
Note 1: $P_B = 1$			

Vähimmäisvaatimukset (FDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.11 FDD	OP.1 FDD	EVA70	2x2 Low	70	13.0	2-5

Testiparametrit (TDD)

Parameter		Unit	Test 1
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
ACK/NACK feedback mode			Bundling
Note 1: $P_B = 1$			

Vähimmäisvaatimukset (TDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.11-1 TDD	OP.1 TDD	EVA70	2x2 Low	70	13.1	2-5

Closed-loop spatial multiplexing performance

Testiparametrit: single-layer spatial multiplexing (FDD)

Parameter		Unit	Test 1	Test 2
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98	-98
Precoding granularity		PRB	6	50
PMI delay (Note 2)		ms	8	8
Reporting interval		ms	1	1
Reporting mode			PUSCH 1-2	PUSCH 3-1
Note 1: $P_B = 1$				
Note 2: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on PMI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported PMI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)				

Vähimmäisvaatimukset: single-layer spatial multiplexing (FDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.10 FDD	OP.1 FDD	EVA5	2x2 Low	70	-2.5	1-5
2	10 MHz	R.10 FDD	OP.1 FDD	EPA5	2x2 High	70	-2.3	1-5

Testiparametrit: multi-layer spatial multiplexing (FDD)

Parameter		Unit	Test 1-2
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
Precoding granularity		PRB	50
PMI delay (Note 2)		ms	8
Reporting interval		ms	1
Reporting mode			PUSCH 3-1
CodeBookSubsetRestriction bitmap			110000
Note 1: $P_B = 1$			
Note 2: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on PMI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported PMI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)			

Vähimmäisvaatimukset: multi- layer spatial multiplexing (FDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.35 FDD	OP.1 FDD	EPA5	2x2 Low	70	18.9	2-5
2	10 MHz	R.11 FDD	OP.1 FDD	ETU70	2x2 Low	70	14.3	2-5

Testiparametrit: single-layer spatial multiplexing (TDD)

Parameter		Unit	Test 1	Test 2
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98	-98
Precoding granularity		PRB	6	50
PMI delay (Note 2)		ms	10 or 11	10 or 11
Reporting interval		ms	1 or 4 (Note 3)	1 or 4 (Note 3)
Reporting mode			PUSCH 1-2	PUSCH 3-1
ACK/NACK feedback mode			Multiplexing	Multiplexing
Note 1: $P_B = 1$ Note 2: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on PMI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported PMI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4) Note 3: For Uplink - downlink configuration 1 the reporting interval will alternate between 1ms and 4ms				

Vähimmäisvaatimukset: single- layer spatial multiplexing (TDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.13 TDD	OP.1 TDD	EVA5	4x2 Low	70	-3.5	1-5

Testiparametrit: multi- layer spatial multiplexing (TDD)

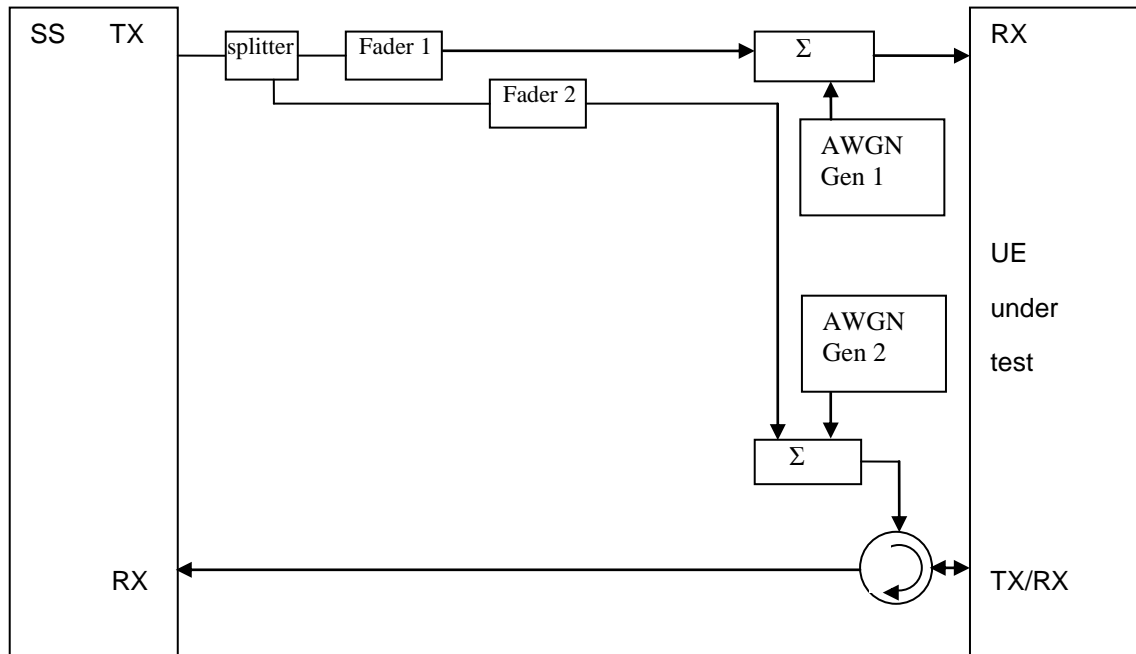
Parameter		Unit	Test 1-2
Downlink power allocation	ρ_A	dB	-3
	ρ_B	dB	-3 (Note 1)
N_{oc} at antenna port		dBm/15kHz	-98
Precoding granularity		PRB	50
PMI delay (Note 2)		ms	10 or 11
Reporting interval		ms	1 or 4 (Note 3)
Reporting mode			PUSCH 3-1
ACK/NACK feedback mode			Bundling
CodeBookSubsetRestriction bitmap			110000
Note 1: $P_B = 1$			
Note 2: If the UE reports in an available uplink reporting instance at subframe SF#n based on PMI estimation at a downlink SF not later than SF#(n-4), this reported PMI cannot be applied at the eNB downlink before SF#(n+4)			
Note 3: For Uplink - downlink configuration 1 the reporting interval will alternate between 1ms and 4ms			

Vähimmäisvaatimukset: multi- layer spatial multiplexing (TDD)

Test number	Bandwidth	Reference Channel	OCNG Pattern	Propagation Condition	Correlation Matrix and Antenna Configuration	Reference value		UE Category
						Fraction of Maximum Throughput (%)	SNR (dB)	
1	10 MHz	R.35 TDD	OP.1 TDD	EPA5	2x2 Low	70	19.5	2-5
2	10 MHz	R.11-1 TDD	OP.1 TDD	ETU70	2x2 Low	70	13.9	2-5

Testikytkennät

Testikytkentä 1



Testikytkentä koostuu System Simulator (SS) eli järjestelmäsimulaattorista. SS voi olla laite tai järjestelmä, joka pystyy tuottamaan simuloitua tukiaseman signaalia ja analysoidaan testettävän laitteen vastauksia testin aikana.

Kiertoelin on kolmen tai neljän portin laite, joka toimittaa mikroaallot tai RF- signaalit tiettyyn porttiin. Vaimennus porttien välillä on 0.

Splitter eli jakaja on laite, jolla on yksi sisääntulo ja kaksi tai enemmän ulostuloa. Sisääntulosignaali jakaantuu tasaisesti ulostuloporttien välillä. Sisääntulon ja ulostulon vaimennus on 0.

Fader eli häipymälaite tuottaa häipymisolosuhteet testiin. Tässä työssä käytetään PROPSIM- emulaattoria häipymän tuottamiseksi.

AWGN Generator eli valkoisen kohinan generaattori. PROPSIM- emulaattorilla pystytään myös tuottamaan AWGN- signaalia.

Testikytkenä 2

