



LTE (4G) – Long Term Evolution

Arttu Juhala

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tie-
toverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

ARTTU JUHALA:
LTE (4G) – Long Term Evolution

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2014

Tässä opinnäytetyössä käsitellään matkapuhelinverkko teknologian neljättä sukupolvea ja tarkemmin Long Term Evolutionia eli LTE:tä. Tutustutaan 4G LTE – matkapuhelinverkon historiaan, teknologian kehitykseen ja rakenteeseen. Lisäksi esitellään tarkemmin tekniikoita, joita LTE käyttää. Työssä on tehty pienimuotoinen mittausesimerkki pakettidatan siirrosta signaali analysaattorilla, sekä testattu käytännössä operaattorin tarjoamaa rajatonta 4G liittymää Tampereen keskustassa. Lopuksi työssä vertaillaan LTE:tä muihin 4G teknologioihin ja pohditaan tulevaisuuden näkymiä.

Ensimmäiseksi työssä käsitellään työhön liittyviä olennaisia käsitteitä ja lyhenteitä, joihin viitataan tekstissä myöhemmin. Long Term Evolutionin historiaan ja syntyyn keskitytään työssä kertomalla miten verkot on historian saatossa kehittyneet, yksittäisiä aikaisemman sukupolven askelia ei ole käyty sanatarkasti läpi. LTE:n kehityksen kuvauksen jälkeen esitellään verkon arkkitehtuuria, sekä käydään läpi LTE:n käyttämiä modulointitekniikoita ja tutustutaan moniantennitekniikkaan ja sen käyttöön päätelaitteissa ja solukoverkkomaisessa verkkoarkkitehtuurissa. Lisäksi työssä toteutetaan pakettidatan siirron simulointia Anritsun protokolla-analysaattorilla ja Nokian matkapuhelimella, koulun laboratorio tiloissa, sekä tehdään operaattorin tarjoaman liittymän testaus Tampereella käyttäen omaa matkapuhelinta. Työssä myös otetaan LTE:n rinnalle vertailuun Yhdysvalloissa enemmän käytetyn WiMAX teknologia ja UMB (Ultra Mobile Broadband) teknologia.

Opinnäytetyön tarkoitus on antaa lukijalle kokonaiskuva 4G Long Term Evolution matkapuhelinverkosta. Työn on tarkoitus myös luoda kuva verkkojen tulevaisuudesta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme of ICT Engineering
Telecommunications Engineering and Networks

ARTTU JUHALA:
LTE (4G) – Long Term Evolution

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 6 pages
May 2014

This thesis work presents the fourth generation of mobile phone technology more specifically technology called Long Term Evolution (LTE). The thesis examines the 4G LTE – the mobile phone network in history, technology and structure, as well presented in more detail about technics used by LTE. In addition, the work includes small-case example of a measurement packet data transmission signal analyzer and tested in the field unlimited 4G subscription provided by the operator in the center of Tampere. Finally, the thesis compares LTE to the other 4G technologies and discusses future aspects.

At the beginning the work deals with work-related key concepts and abbreviations, which are referred to in the text later. The history and birth of Long Term Evolution are focused on the text by how networks are developed in the course of history, in the individual steps of the previous generations there has been no word carefully. LTE's development, followed by the description of the network architecture, and goes through the LTE most used modulation techniques and introduces multi-antenna technology and the use of mobile devices and cellular network architecture. In addition, the work carried out in packet data transfer simulation by Anritsu protocol analyzer and Nokia mobile phone in the school's laboratory facilities, and are provided by the operator subscription testing in Tampere, using own mobile phone. Thesis also compares with LTE technology alongside the WiMAX which is more used in United States and UMB (Ultra Mobile Broadband) technology.

The purpose of this thesis is to provide an overview of 4G Long Term Evolution mobile phone network. In addition, the purpose of the work is to create an image of the future networks.

Key words: 3GPP, 4G, LTE, OFDM, MIMO

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	LTE-TEKNOLOGIA	9
2.1	LTE:n historia	9
2.2	LTE-tekniikan kehitys	10
2.3	LTE-verkon arkkitehtuuri	12
3	TEKNIIKAT	15
3.1	OFDM.....	15
3.1.1	OFDMA-modulaatio	17
3.1.2	SC-FDMA -modulaatio.....	18
3.1.3	Modulaatiotekniikoiden vertailua	19
3.2	MIMO	20
3.2.1	MIMO päätelaitteessa	22
3.2.2	MIMO solukko-verkoissa.....	22
4	SIMULOINTI JA 4G TEKNIKOIDEN VERTAILU.....	24
4.1	Mittaukset	24
4.1.1	Anritsu MD8470A protokolla-analysointilaite	24
4.1.2	Pakettidatan siirto.....	25
4.2	LTE:n VERTAILUA MUIHIN 4G TEKNIIKKOKOHTEISIIN.....	27
4.2.1	UMB.....	27
4.2.2	WiMAX	27
5	LTE:n TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	29
6	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	34
	Liite 1. 3GPP kehitys.....	34
	Liite 2. Anritsu MD8740A	35
	Liite 3. Speedtest.net 4G nopeustesti.	36
	Liite 4. LTE vs. LTE-Advanced vs. WiMAX	37
	Liite 5. 4G - LTE kuuluvuus Suomessa	38

LYHENTEET JA TERMIT

3GPP	3rd Generation Partnership Project, standardointijärjestöjen yhteistyöorganisaatio
0-4G	Matkapuhelinverkkojen sukupolvet 0G ARP (autoradiopuhelin) 1G NMT (Nordisk Mobiltelefon) 2G GSM (Global System for Mobile Communications) 3G UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) 4G LTE (Long Term Evolution)
CDMA	Code Division Multiple Access, koodijakokanavointi, yksi radiotien kanavanvaraustekniikoista
DFTS-OFDM	Discrete Fourier Transform Spread OFDM, algoritmi
DL	Downlink, laskeva siirtotie
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution, matkapuhelinten pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka
eNB	Evolved Node B, E-UTRAN -radiatorajapinnan tukiasema
EPC	Evolved Packet Core, LTE runkoverkko
EPS	Evolved Packet System, nimitys kokonaisuudesta, joka sisältää E-UTRAN ja EPC
E-UTRAN	Evolved UTRAN, LTE-verkon radiatorajapinta
FFD	Frequency Division Duplex, tekniikka jossa on erilliset taajuusalueet lähettimelle ja vastaanottimelle
FFT	Fast Fourier Transform, algoritmi
FOMA	Freedom of Mobile Multimedia Access, mailman ensimmäinen kaupallinen 3G-standardi
GPRS	General Packet Radio Services, pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications on digitaalinen matkapuhelinjärjestelmä jota käytetään maailmanlaajuisesti
HDTV	High-definiton television, teräväpiirtotelevisio, digitaalitelevision kehittyneempi tekniikka, määrittäyty resolution perusteella vähintään 1280x720 pikseliä, niin voidaan kutsua HDTV

IP	Internet Protocol, Internet-protokolla
ITU	International Telecommunication Union, Kansainvälinen televiestintäliitto
KBPS	Kilobittiä per sekunti, tiedonsiirtonopeuden ilmaisin
LTE	Long Term Evolution, neljännen sukupolven matkapuhelin- teknologia
MHZ	Megahertzi, taajuuden yksikkö
MIMO	Multiple Input and Multiple Output, antennitekniikka, jossa käytetään lähetykseen ja vastaanottoon samanaikaisesti use- ampaa kuin yhtä antennia
MISO	Multiple Input and Single Output, antennitekniikka, jossa käytetään vastaanottoon useaa antennia, mutta lähetykseen yhtä antennia samanaikaisesti
MME	Mobility Management Entity, liikkuvuudenhallintaelementti
MRC	Maximal Ratio Combining
SAE	System Architecture Evolution, runkoverkko
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access, pääte- laitteessa käytetty OFDM-tekniikkaan perustuva modulointi- tekniikka
SIMO	Single Input and Multiple Output, antennitekniikka, jossa käytetään vastaanottoon yhtä antennia, mutta lähetykseen useaa antennia samanaikaisesti
SISO	Single Input and Single Output, jossa lähetyksessä ja vas- taanotossa molemmissa on käytössä vain yksi antenni
S-GW	Serving Gateway, yhdyskäytävä LTE-verkon arkkitehtuuris- sa
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, nelivaiheinen vaiheavainnus eli vaihemodulointimenetelmä, joka käyttää neljää kantaaal- lon vaihetta
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex modulointitek- niikka, joka perustuu tiedonsiirtoon useilla taajuuskanavilla samanaikaisesti
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDM- tekniikkaan perustuva modulointitekniikka, joka mahdollis- taa tiedonsiirron usealle käyttäjälle samanaikaisesti

PAPR	Peak to Average Power Ratio, OFDM-lähetteen tehokäyttämisen suure
PSK	
P-GW	Packet data Network Gateway, kytkee Serving Gatewayltä tulevan yhdeyden SAE:n ulkopuoliseen pakettidataverkkoon, sekä jakaa IP –osoitteet.
TDMA	Time Division Multiple Access, aikajakokanavointi on radiotien kanavanvaraustekniikka
UP	Uplink, nouseva siirtotie
UMB	Ultra Mobile Broadband, tuotenimi 3GPP2-projektille, jossa oli tarkoitus kehittää CDMA2000 seuraavan standardi vastaamaan seuraavaa sukupolvea
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinteknologia.
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network, UMTS-verkon radorajapinta
Wi-Fi	Wireless Local Area Network, Wi-Fi on kaupallinen nimitys WLAN:lle
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee neljännen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikkaa – 4G LTE:tä. Työssä esitellään LTE:n syntyjuuria sekä tekniikan kehitystä ja verkon arkkitehtuuria. Lisäksi työssä perehdytään tekniikoihin joita LTE käyttää sekä vertaillaan muihin neljännen sukupolven tekniikoihin.

4G - Long Term Evolution on ensisijaisesti kehitetty korvaamaan tällä hetkellä jo vanhaksi käyneen kupariverkon päällä käytetyn xDSL –tekniikan. LTE tuo ensisijaisesti tiheään asutuille taajama-alueille ja kaupunkeihin langattoman nopean yhteyden, joka ei tule korvaamaan kuitua, koska 4G verkon kapasiteetti jaetaan käyttäjien määrän suhteen. Tämä ei todellisuudessa anna verkolle kuin 2-4 kertaa enemmän nopeutta kuin nykyinen 3G. Haja-asutus alueita varten nykyään LTE tekniikkaa tarjotaan myös 800 MHz taajuudella, mutta yleisin ja vallitsevin LTE -taajuus Suomessa on LTE 1800MHz, lisäksi 2600MHz on käytössä muutamissa pisteissä Etelä-Suomessa.

Työssä käsitellään ensimmäiseksi Long Term Evolution syntyhistoria, näin lukija saa kuvan siitä miten ja mistä kaikki on lähtenyt liikkeelle LTE:ssä. Syntyhistorian jälkeen työssä käydään läpi tekniikan kehitystä ja verkon arkkitehtuuria. Liitteessä 1 on myös havainnollistettu LTE:n kehityskaavio. Kolmannessa kappaleessa työssä käsitellään tekniikat OFDM ja MIMO, jotka kuuluvat olennaisesti LTE:hen.

Tämän lisäksi tehdään pakettidatan mittauksia koulun laboratoriotiloissa, käyttäen Anritsun protokolla-analysaattoria ja Nokia matkapuhelinta, sekä tehdään operaattorin tarjoaman 4G liittymän testausta Tampereen keskustassa.

Lopulta työssä vertaillaan LTE:tä muihin 4G tekniikoihin, liitteestä 4 löytyy itse tehty vertailutaulukko 4G tekniikoiden vertailusta, sekä käydään läpi tulevaisuuden näkymät. Työn tarkoitus olisi antaa lukijalle kokonaiskuva neljännen sukupolven Long Term Evolution tekniikasta.

2 LTE-TEKNOLOGIA

2.1 LTE:n historia

LTE:n syntyjuuret johtavat aina ensimmäisen matkapuhelinverkon eli GSM (Global system for mobile communications) ajalle 1990-luvun alkuun. Se on ensimmäinen digitaalinen matkapuhelinverkko, joka on luonut pohjan ja jatkuvan kehityksen mahdollisuuden seuraaville sukupolville. GSM ja muut sen aikaiset järjestelmät, kuten CDMA (code division multiple access), loivat toisen sukupolven (2G). Pääsääntöisesti nämä suunniteltiin vain puheen välittämiseen, mutta myöhemmin mukaan tuli myös tiedonsiirtoa. Tiedonsiirto oli kuitenkin hidasta verrattuna kiinteisiin modeemiyhteyksiin.

3G eli kolmas sukupolvi matkapuhelinteknologioille luotiin vuosituhannen vaihteessa ja tämä oli suuri hyppy eteenpäin langattomassa tiedonsiirrossa. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on lopputulos ITU:n (International Telecommunication Union) 1990-luvun lopussa järjestämästä projektista luoda ratkaisumalli 3G-puhelinjärjestelmää varten. Ensimmäinen kaupalliseen käyttöön lanseerattu 3G-verkko kuitenkin avattiin Japanissa vuonna 2001 ja se perustui FOMA-tekniikkaan. FOMA on Japanin NTT DoCoMo kehittämä W-CDMA-pohjainen 3G-standardi. FOMA ei myöskään ollut aluksi UMTS yhteensopiva mutta myöhemmin vuonna 2004 se saatiin päivityksien avulla täysimittaisesti yhteensopivaksi UMTS-verkkojen kanssa. UMTS-verkot tulivat yleisesti käyttöön vuoden 2005 alussa.

Neljäs sukupolvi eli 4G verkoista ensimmäiset maininnat löytyvät vuodelta 2004, jolloin Japanin NTT DoCoMo esitteli LTE:n kansainvälisenä standardina. 2006 syksyllä silloinen Siemens Networks (nykyään Nokia Siemens Networks) näytti yhteistyössä Nomor Researchin kanssa ensimmäisen live jäljittelyn LTE-verkosta medialle ja sijoittajille. Live jäljittelyssä kaksi käyttäjää suoratoisti HDTV kuvaa downlinkillä ja pelasi samaan aikaan vuorovaikutteista peliä uplinkin avulla. Tämän jälkeen LTE-verkon kehitys levisi ja jatkuvasti eri maista tuli uusia saavutuksia LTE:n saralla. Ruotsissa 2007 esiteltiin ensimmäisen kerran LTE-verkko 144 Mb/s nopeuteen asti. Lopulta vuonna 2008 3GPP julkaisi ensimmäisen LTE standardin perustuen uusiin OFDMA, FDE ja MIMO rakenteisiin radioverkkoihin, mutta ei ollut yhteensopiva CDMA kanssa. (Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold.2013.)

2.2 LTE-tekniikan kehitys

LTE – tekniikan kehitys on mahdollistanut suurempien siirtonopeuksien ja kapasiteettien tarjonnan langattomiin yhteyksiin. LTE:n kehitys aloitettiin 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) toimesta, joka on usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio. Alkuperäinen tarkoitus 3GPP:llä oli tehdä maailmanlaajuisesti sovellettavissa oleva kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinjärjestelmä. Kehitystyössä mukana ovat Euroopan, Yhdysvaltojen, Japanin, Korean sekä Kiinan standardointijärjestöt.

3GPP:ssä LTE:n kehitystyö aloitettiin vuonna 2004, jolloin aloitettiin vaatimusmääritellyt 2010 – luvun matkapuhelinjärjestelmille. Tavoitteeksi 3GPP asetti pakettimuotoiseen tiedonsiirtoon optimoidun järjestelmän. Lisäksi tavoitteena oli järjestelmä, joka saavuttaa vähintään 100 megabitin tiedonsiirtonopeuden liikkeessä (500km/h) ja pienemmän viiveen kuin edelliset järjestelmät. Sen tulee soveltua käytettäväksi eri kaistanleveyksillä 1,4 MHz:stä 20 MHz:iin saakka, jotta nämä tavoitteet on saavutettavissa ja järjestelmän kustannukset eivät kasva liian suuriksi. Määrittelyn pohjalta todettiin, että järjestelmän toteuttaminen edellyttää uutta radioteknologiaa sekä uutta verkkoarkkitehtuuria. (LTE Encyclopedia 2014.)

TAULUKKO 1. LTE Release 8 ominaisuuksia (3GPP 2014).

Access Scheme	UL	DFTS-OFDM
	DL	OFDMA
Bandwidth	1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz	
Minimum TTI	1msec	
Sub-carrier spacing	15kHz	
Cyclic prefix length	Short	4.7μsec
	Long	16.7μsec
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	
Spatial multiplexing	Single layer for UL per UE Up to 4 layers for DL per UE MU-MIMO supported for UL and DL	

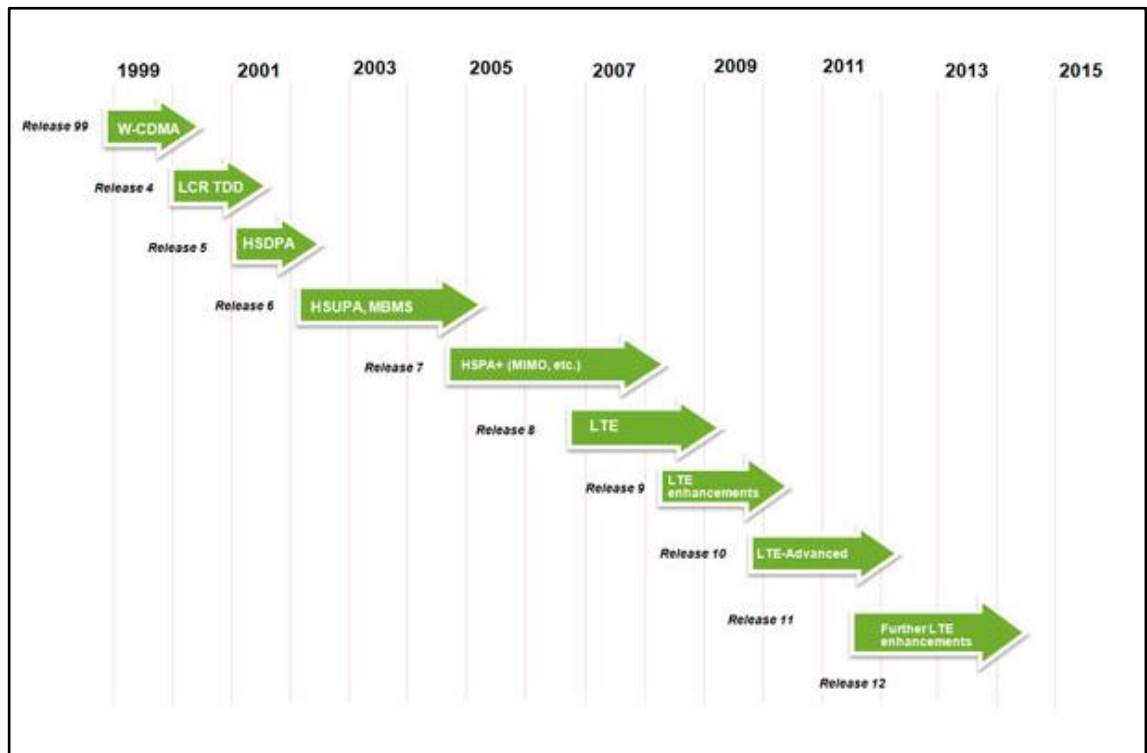
Release 8 standardin ominaisuuksia ovat muun muassa korkea spektritehokkuus (OFDM on häiriösietoinen ja monitiehäiriöiltä suojattu), erittäin alhainen latenssi, vaihtelevan kaistanleveyden tuki (1.4, 3, 5, 10, 15 ja 20 MHz), yksinkertainen protokollarakkitehtuuri, yhteensopivuus muiden 3GPP-julkaisujen kanssa sekä tehokas Multicast-

lähetyks. Viimeiseksi mainittu mahdollistaa suoratoisto videoiden lähetyksen sekä videoneuvottelujen toteuttamisen.

TAULUKKO 2. LTE Release 8:n matkaviestinlaitekategoriati (LTE rel. 8 2014).

Category		1	2	3	4	5
Peak rate Mbps	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Capability for physical functionalities						
RF bandwidth	20MHz					
Modulation	DL	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	UL	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Multi-antenna						
2 Rx diversity	Assumed in performance requirements.					
2x2 MIMO	Not supported		Mandatory			
4x4 MIMO	Not supported					Mandatory

3GPP:n kehitystä kuvaa hyvin 3GPP:n julkaisuaikataulu, joka on esitelty kuvassa 1.

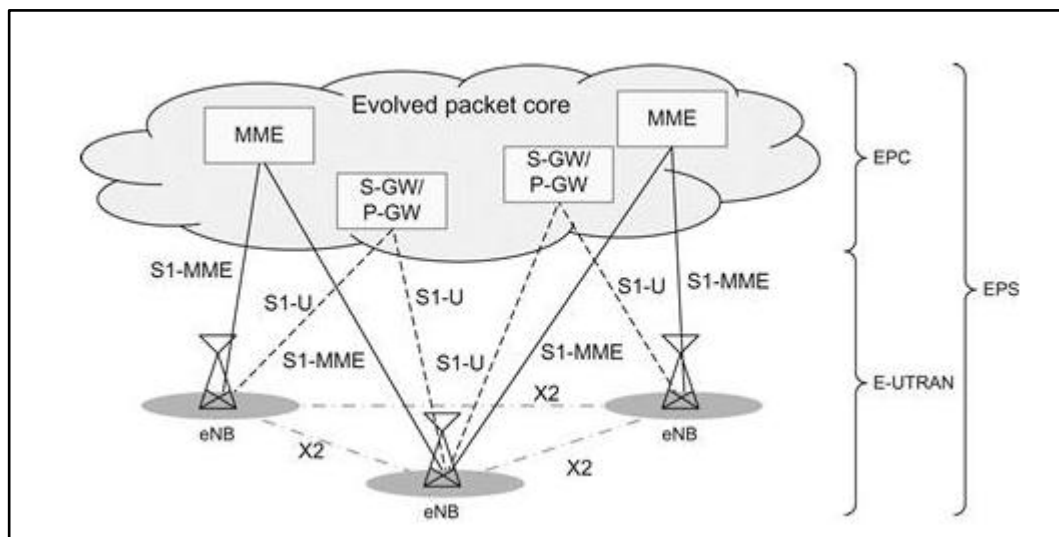


KUVA 1. 3GPP julkaisuaikataulu tähän asti (3GPP – About 2014).

Release 9 julkaistiin 2009 vuoden lopussa ja se toi mukanaan WiMaX:n ja LTE:n yhteensopivuutta ja HSDPA:n MIMO-ominaisuuksia. Tähän asti on julkaistu jo LTE:stä seuraavakin vaihe (Release 10), joka kulkee nimellä LTE-Advanced. Se julkaistiin virallisesti maaliskuussa 2011 ja se tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden teoreettisesti jopa 1 gigabitin nopeuteen. LTE-Advanced on myös yhteensopiva Release 8:n kanssa. Release 11 julkaistiin elokuussa 2013 ja se toi mukanaan päivityksiä ja parannuksia jo olemassa olevaan release 10. Release 12 on odotettavissa julkaistuksi vuoden 2014 joulukuussa, se tuo mukanaan parannuksia esimerkiksi turvallisuuteen, ryhmäkeskusteluihin, Wi-Fi:n integrointiin sekä järjestelmän kapasiteetin ja vakauden parannuksia. Release 13 on myös suunnitteilla ja siinä tuodaan ainakin uusia taajuualueita Amerikkaan ja edelleen kehitetään turvallisuutta, sen arvioitu julkaisuajankohta on maaliskuussa 2016. (3GPP – About 2014.) Tarkka aikataulun havainnointikuva on esitelty liitteessä 1.

2.3 LTE-verkon arkkitehtuuri

LTE-verkon rakenne koostuu E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network) radioverkko-osasta ja runkoverkon SAE (System Architecture Evolution) osuudesta. Yhdessä näitä kutsutaan EPS (Evolved Packet System), jonka tehtävä on välittää pakettidata kiinteän verkon yhdyskäytävästä päätelaitteeseen.



KUVA 2. LTE:n verkko ratkaisu (LTE Network Architecture 2013.)

E-UTRAN

Evolved Universal Terrestrial Access Network koostuu vain yhdestä solmupisteestä, eNodeB, joka toimii rajapintana käyttäjän päätelaitteelle. eNodeB:t on yhdistetty radioverkon avulla toisiinsa X2 liitännän avulla (kuva 2.). Kaikki radio toiminnallisuudet on yhdistetty eNodeB, mikä tarkoittaa, että eNodeB on päätepiste kaikille radioon liittyvien protokollille, fyysiselle kerrokselle (Physical layer), Medium Access Control-kerrokselle ja Packet Data Control Protocol (PDCP) kerrokselle, joka sisältää käyttäjän päätelaitteen otsikon pakkauksen ja salauksen.

EPS

Evolved Packet System on täysin IP-pohjainen. Siinä sekä reaaliaikaiset että datapalvelut kulkevat IP protokollalla. Korkean tason modulaatio (64QAM asti), suuri kaistan leveys (20MHz) ja MIMO-antennitekniikka on myös osana tätä uutta EPS ratkaisua. Suurimmat teoreettiset nopeudet ovat noin 350 Mb/s käyttäen näitä kaistanleveyksiä ja modulaatiotasoa sekä MIMOa. Kehittyneempi versio LTE-Advanced sen sijaan tukee teoriassa modulaatiota jopa 128QAM asti, kaistanleveyttä 100MHz asti ja MIMO-tekniikasta jopa 8x8 tekniikkaa. Näillä teoriassa olisi mahdollista toteuttaa jopa 3 Gb/s nopeudet.

LTE-verkko on yksinkertaisesti tukiasemien verkko, jossa elementteinä on ainoastaan eNB (evolved NodeB) tukiasemia. Tämän ansiosta verkkoon saadaan hyvin matalan tason arkkitehtuuri. Verkossa ei ole ohjauskeskuksia, vaan tukiasemat ovat suoraan yhteydessä toisiinsa ja jokainen tukiasema verkkoon. Tällä tavalla yhteyden perustaminen on saatu nopeammaksi ja viiveet pienemmiksi. Käyttäjälle nämä ovat olennaisimpia asioita reaaliaikaisia palveluita käytettäessä. (LTE Network Architecture 2013.)

SAE

System Architecture Evolution on core-verkko, jonka keskeisiä elementtejä ovat MME (mobility management entity) eli liikkuvuudenhallintaelementti, S-GW (serving gateway) ja P-GW (packet data network gateway). MME on ohjaustiedon käsittelyyn ja hallintaan tarkoitettu elementti. Se on yhteydessä ohjaustason kautta tukiasemiin ja se huolehtii myös LTE -pätelaitteen signaloinnista HSS:n (Home Subscriber Server), eli

tilaajarekisterin kanssa. Lisäksi MME huolehtii myös signaloinnin S-GW-elementin kanssa datayhteyden muodostamiseksi.

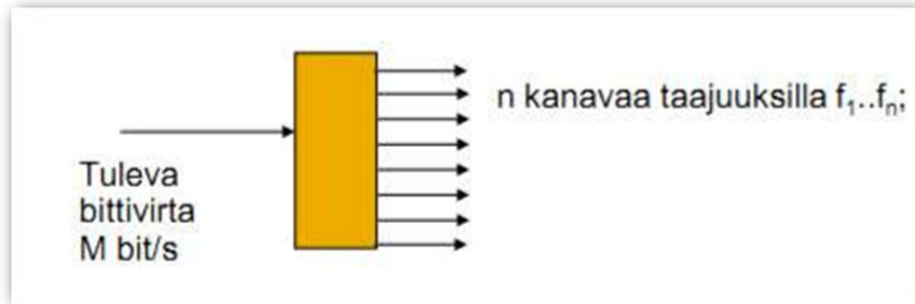
Serving Gateway on yhdyskäytävä, joka pitää huolen varsinaisesta datayhteydestä tukiaseman ja Packet data Network Gateway välillä. Nämä S-GW ja P-GW on mahdollista olla integroituna samassa laitteessa. Serving Gatewayn ensisijainen tehtävä on toimia käyttäjätason tunnelina mikä tarkoittaa, että kaikki käyttäjä tason paketit kulkevat sen läpi. Se toimii myös tukipisteenä käyttäjille jotka liikkuvat yli LTE:n solujen.

Packet data Network Gateway – elementti kytkee Serving Gatewayltä tulevan yhdeyden SAE:n ulkopuoliseen pakettidataverkkoon. Tärkeimpinä tehtävinä P-GW:llä huolehtia IP -osoitteiden jaosta, pakettien tulkinnasta ja suodatuksesta, jonka avulla P-GW voi määrittää, kuinka paketit käsitellään. (LTE Network Architecture 2013.)

3 TEKNIIKAT

3.1 OFDM

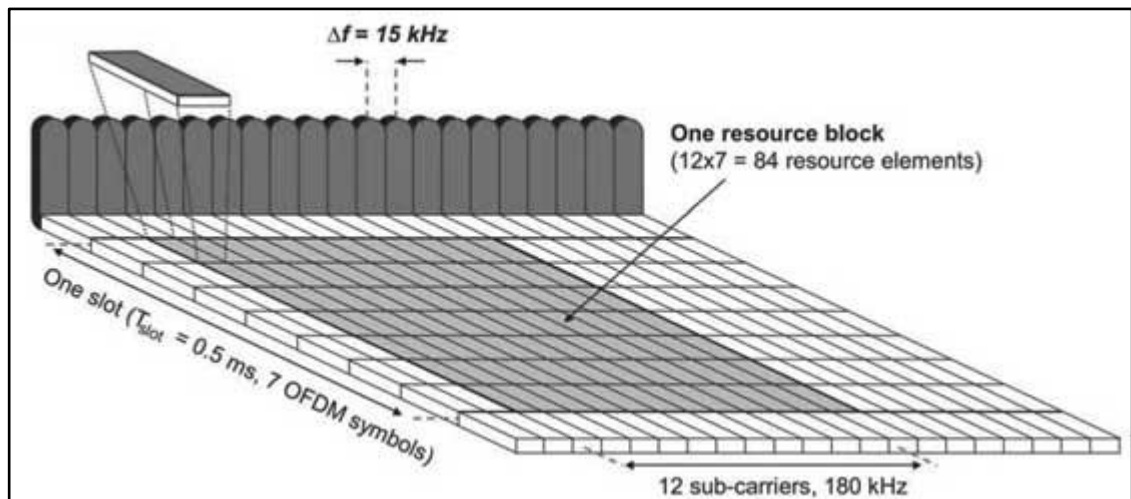
OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) periaate on tiedon siirto lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa. OFDM:n periaate on jakaa datavirta usealle rinnakkaiselle apukantoaallolle (kuva 3).



KUVA 3. OFDM bittivirran jako (OFDM 2013).

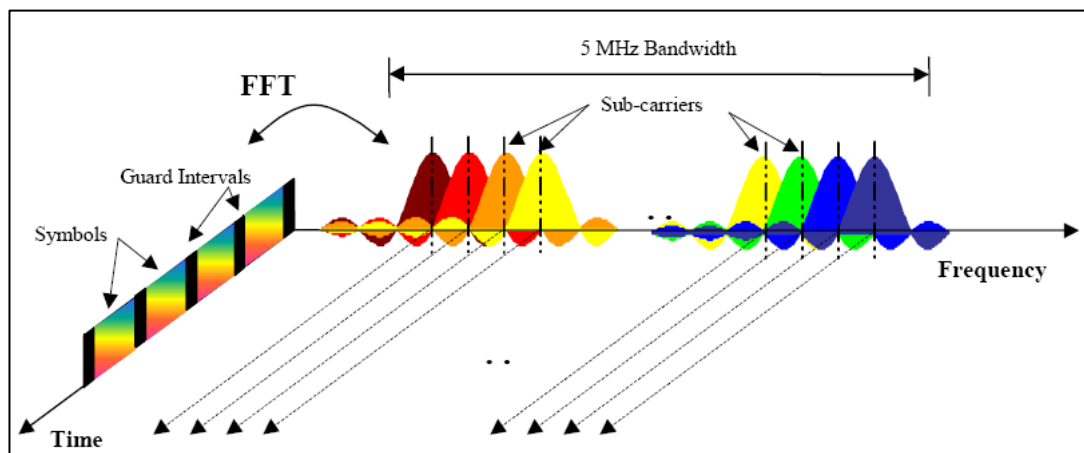
OFDM -modulointitekniikka hyödyntää signaalin muodostuksessa kaistanleveyttä koostuen useista kapeakaistaisista apukantoaalloista. Apukantoaaltojen määrä on välillä 128 – 2048, riippuen kaistanleveydestä. Apukantoaallot ovat hyvin lähekkäin toisiaan taajuuden suhteen. OFDM täyttää LTE:n vaatimukset spektrin joustavuudesta ja mahdollistaa kustannustehokkaan ratkaisun. LTE:n downlinkin fyysiset resurssit voidaan pitää esittää aika-taajuus akselilla, kuten alla olevassa kuvassa 4 on esitelty.

OFDM symbolit on ryhmitelty resurssi lohkoiksi. Resurssi lohkojen koko on 180 kHz taajuusalueella ja 0.5 ms aikatasossa. Jokainen 1 ms Transmission Time Interval (TTI) koostuu kahdesta aikatason paikasta (T Slot). Jokaiselle käyttäjälle on varattu useita niin sanottuja ”resurssilohkopalikoita”. Mitä enemmän resurssilohkopalikoita käyttäjä saa, ja mitä korkeampaa modulointia on käytetty resurssien elementeissä, sitä suurempi on bittinopeus.



KUVA 4. OFDM:n aika-taajuus jako (LTE OFDM Technology 2014).

Kuvassa 5 on havainnollistettu OFDM:n toimintaperiaatetta ja apukantoaaltoihin jaettua taajuusaluetta. Tämän avulla langattoman kanavan häiriöitä saadaan huomattavasti vähennettyä, koska tällöin häipyminen vaikuttaa vain harvoihin apukantoaaltoihin. Tämä siis edistää järjestelmän edistystä ja tuo laadukkuutta, sekä nopeutta langattomalle siirrotielle.



KUVA 5. OFDM-monikantoaaltotekniikan toimintaperiaate. (HSCWiki 2014).

OFDM:n toiminta perustuu diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen. Moduloitava symboli vastaa kompleksilukuna esitettyjä taajuuksien voimakkuuksia ja vaihekulmia, jotka muutetaan diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella digitaalisen signaalin vaihteluiksi. Tästä digitaalinen signaali muunnetaan D/A-muuntimella analogiseksi kantataajuiseksi OFDM -signaaliksi. Kantataajuista signaalia voidaan käyttää sellaisenaan, tai sillä voidaan moduloida radiotaajuista kantoaaltoa.

Taajuuskanavien määrä ja kanavassa kerralla siirrettävä bittien määrä vaihtelee. Kanavia on kymmenistä tuhansiin, esimerkiksi 16-QAM-modulaatiota käytettäessä erilaisia vaiheen ja voimakkuuden arvoja on 4x4, jolloin yhden taajuuskanavan sisällä voidaan siirtää 4 bittiä.

OFDM:ssä aikatasolla lähetettävät peräkkäiset symbolit erotellaan suojaväleillä, ne suojaavat symboleiden keskinäistä vaikutusta aiheuttaa häiriöitä. LTE:ssä suojaväli toteutetaan käyttämällä syklistä etuliitettä (CP, cyclic prefix), eli jokaista OFDM-symbolia edeltää saman symbolin loppuosa.

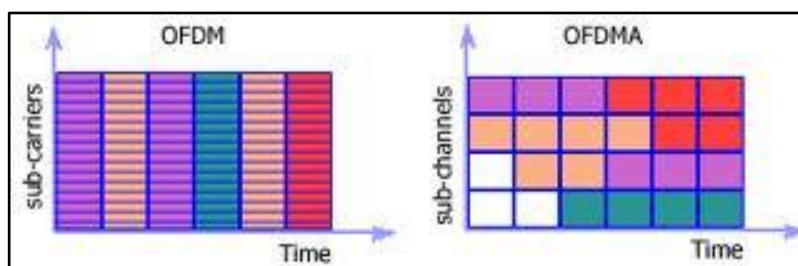
OFDM:n yhtä symbolia vastaavat digitaaliset signaalipulssien arvot saadaan laskettua kaavan 1 avulla.

$$x_k = \sum_{i=0}^{N-1} e^{\frac{j\pi k i}{N}} Z_i, \quad (1)$$

jossa Z_i on kanavalla siirrettävä datasymboli kompleksilukuna esitettynä ja N on sekä kanavien että signaalin pulssien määrä. (Orthogonal frequency-division multiplexing 2013.)

3.1.1 OFDMA-modulaatio

OFDMA -modulointitekniikka on OFDM -tekniikan mukautettu versio. LTE käyttää OFDMA- tekniikkaa tiedonsiirrossa tukiasemalta päätelaitteelle. OFDMA:ssa taajuusalue on jaettu lukuisiin toisiaan lähellä oleviin apukantoaaltoihin, kuten OFDM:ssa, mutta OFDMA:ssa apukantoaallot on jaettu vielä ns. käyttäjäryhmiin. Apukantoaalloista muodostettua ryhmää kutsutaan alikanavaksi. Kuvassa 6 on havainnollistettu esitetty OFDM- ja OFDMA -modulaatiot. Apukantoaaltojen ei myöskään tarvitse olla viereisiä OFDMA:n alikanavissa.

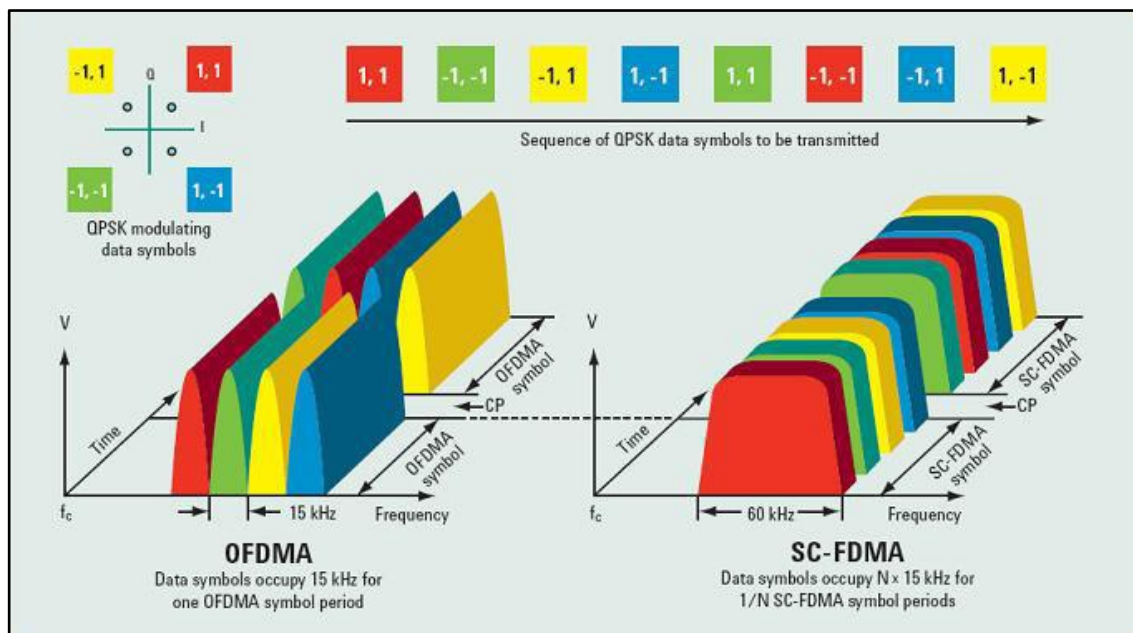


KUVA 6. OFDM- ja OFDMA-modulaatio. (OFDM/OFDMA –Picture 2014).

3.1.2 SC-FDMA -modulaatio

SC-FDMA-modulaatio (Single Carrier Frequency-division multiple access) on LTE:ssä käytetty tekniikka päätelaitteelta tukiasemalle siirrettävässä datassa. Tämä selittyy lähetteen tehovaihteluiden aiheuttamien ongelmien takia. OFDM-lähetteen tehoa kuvataan suureella PAPR (Peak to Average Power Ratio), joka kertoo tehuippujen suhteen signaalitehoon nähden.

Kuvassa 7 on havainnollistettu erot OFDMA- ja SC-FDMA-tekniikoiden välillä. Eri värit edustavat eri käyttäjiä. OFDMA:ssa käyttäjät jaetaan pelkästään taajuuden perusteella, mutta SC-FDMA:ssa käyttäjät on jaettu ajan suhteen. (SC-FDMA 2014.)



KUVA 7. OFDMA- ja SC-FDMA-modulaatio. (SC-FDMA 2014).

SC-FDMA tekniikka jakaa käyttäjän lähettämän datan usealle eri alikantaosalle.

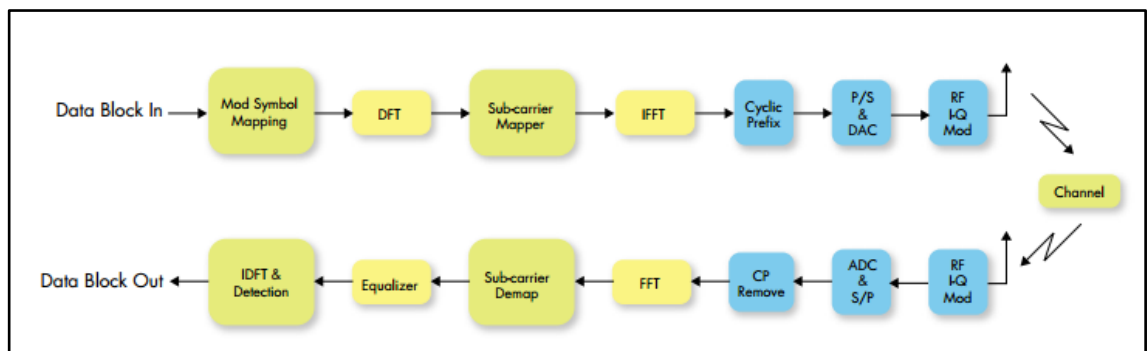
OFDMA – tekniikkaan verrattuna olennaisin ero on se, että OFDMA:ssa jokaisella

käyttäjällä on oma alikantaosalle. SC-FDMA tekniikassa jokainen symboli varaa yhden

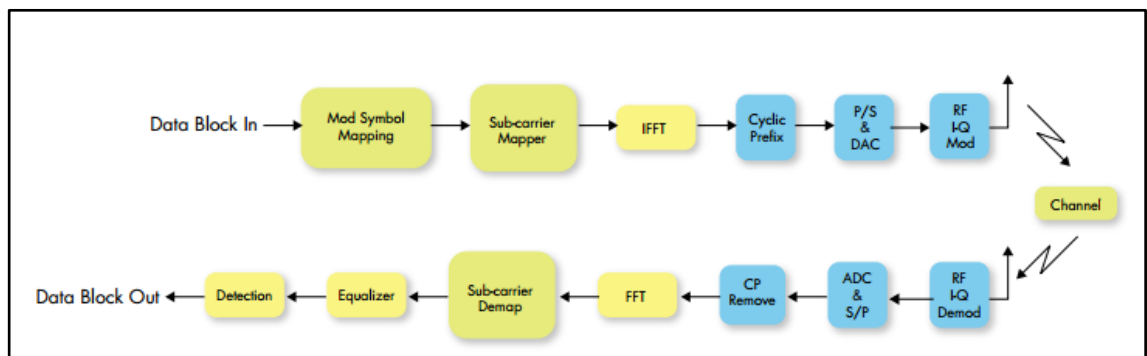
kokonaisen taajuuskaistan.

3.1.3 Modulaatiotekniikoiden vertailua

Suurin ero OFDM ja SC-FDMA lähetyksen välillä on DFT kartoitus. Kun data bitit on kartoitettu modulaatio symboleiksi, lähetin kasaa modulaatio symbolit lohkokon ”N” symboleita. Tässä pisteessä diskreetillä Fourier muunnoksella nämä symbolit muutetaan aikatasolta taajuusulottuvuudelle. Taajuusalueen jälkeen näytteet on kartoitettu osaksi M alikantoaaltoa, missä M on tyypillisesti suurempi kuin N. Kuten OFDM:ssä on M-pisteen IFFT on tehty generoimalla aikatason näytteet näiltä alikantoaaltoilla, jonka jälkeen kaaviossa seuraa syklinen etuliite, sarjaportti sovitin, da-muunin ja rf-osajärjestelmä. Kuvissa 8 ja 9 on esitelty molempien modulaatiomenetelmien kaavio erot. (SC-FDMA LTE 2014.)



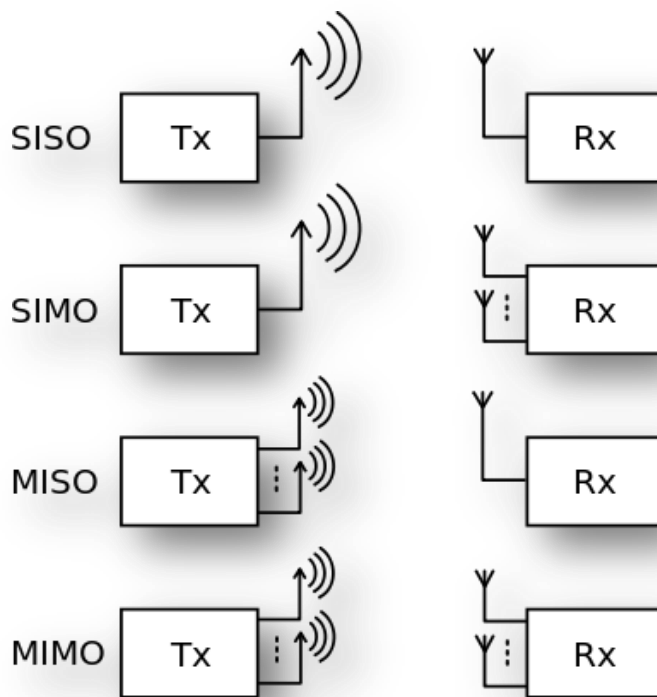
KUVA 8. SC-FDMA Lähetin ja vastaanotin kaavio (SC-FDMA LTE 2014).



KUVA 9. OFDM Lähetin ja vastaanotin kaavio (SC-FDMA LTE 2014).

3.2 MIMO

MIMO-tekniikka (Multiple-Input and Multiple-Output) tarkoitetaan tietoliikennetekniikkaa, jossa lähetykseen ja vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia. MIMO-tekniikka on olennainen osa LTE-järjestelmää, sen avulla voidaan kasvattaa datansiirtonopeutta, laajentaa verkon kattavuusaluetta ja lisätä käyttäjämääriä. Kuvassa 10 on havainnollistettu eri antennimenetelmiä, SISO-, SIMO-, MISO- ja MIMO -tekniikoiden erot, 1x1, 1x2, 2x1 ja 2x2 antennikokoonpanot. MIMO-antennikokoonpano saattaa sisältää enemmänkin kuin kaksi antennia per tukiasema tai päätelaite.



KUVA 10. Eri antennimenetelmät ja niiden erot, Tx = lähetin, Rx = vastaanotin. (MIMO 2014).

SISO

Single Input and Single Output on antennitekniikka, jossa lähetykseen ja vastaanottoon käytetään vain yhtä antennia. Käyttökohteita tälle järjestelmälle ovat mm. radio- ja televisiolähetykset. Kuvassa 10 on esitelty SISO käytännössä.

SIMO

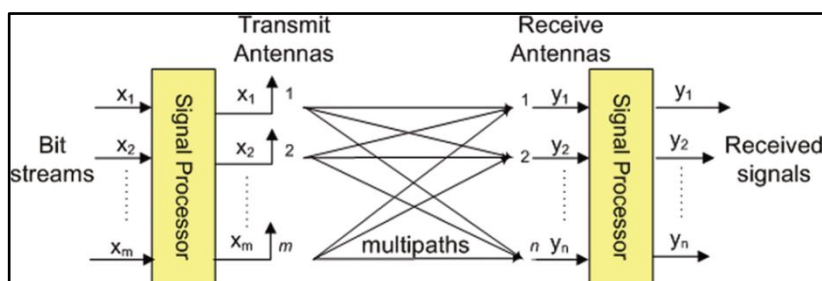
Single Input and Multiple Output on antennitekniikka, jossa lähetykseen käytetään vain yhtä antennia ja vastaanottoon useampaa kuin yhtä antennia. Vastaanotin valitsee kahdesta tai useammasta antennista, joko voimakkaimman signaalin tai sitten se yhdistää vastaanottimen antennien signaalit maksimoidakseen SNR (Signal to Noise Ratio), tätä tekniikkaa kutsutaan MRC (Maximal Ratio Combining). Kuvassa 10 on esitelty SIMO käytännössä.

MISO

Multiple Input and Single Output on antennitekniikka, jossa lähetykseen käytetään useampaa kuin yhtä antennia ja vastaanottoon vain yhtä antennia. Tätä kutsutaan Alamouti STC (Space Time Coding), jossa lähetin käyttää kahta antennia. STC mahdollistaa, että lähetin voi lähettää sekä paikka että aika tiedot eteenpäin. Tämä tarkoittaa sitä, että signaali on lähetetty kahdesta antennista kahtena eri ajankohtana peräkkäin. Kuvassa 10 on esitelty MISO käytännössä.

MIMO

Multiple Input and Multiple Output on antennitekniikka, jossa lähetykseen ja vastaanottoon käytetään useampaa kuin yhtä antennia samanaikaisesti. MIMO – järjestelmä mahdollistaa radiolinkin suoritustehon moninkertaistamisen. Kuvassa 11 on havainnollistettu MIMO- järjestelmää, josta nähdään kuinka lukuisia erisiirtoteitä syntyy sen mukaan kuinka monta lähetin- ja vastaanotinantennia on.



KUVA 11. MIMO – antennijärjestelmä (MIMO Wireless Networks 2013).

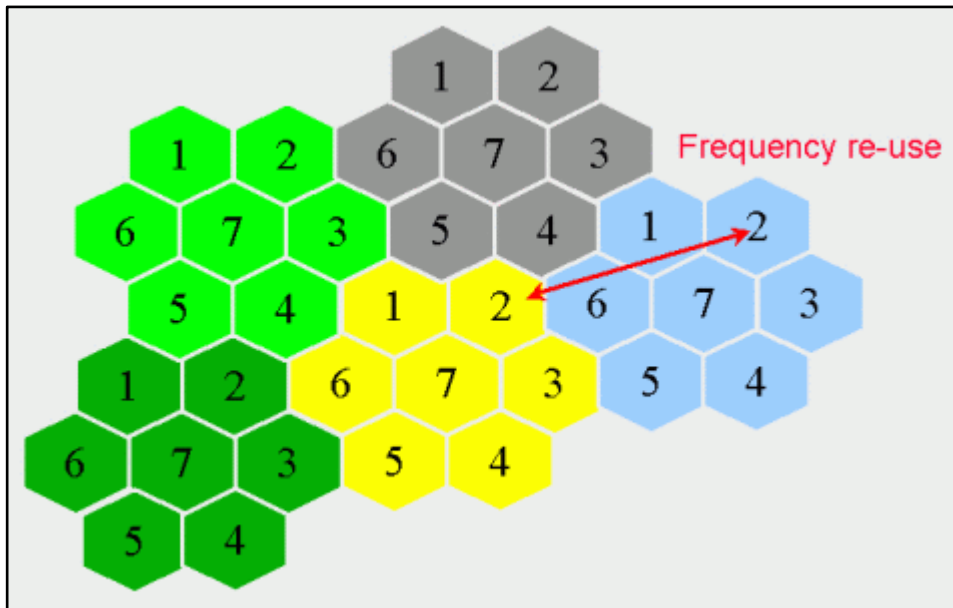
3.2.1 MIMO päätelaitteessa

LTE:ssä päätelaitteille on asetettu oletusarvoksi 2x2-antennikokoonpano. 2x2-kokoonpano tarkoittaa, että tukiasemassa ja päätelaitteessa on molemmissa kaksi antennia. LTE:n Release 8 julkaisussa 2x2-antennikokoonpano on määritelty pakolliseksi kategorioiden 2,3,4 ja 5 päätelaitteissa (taulukko 2) ja 4x4-antennikokoonpano on määritelty pakolliseksi 5 kategorian päätelaitteissa. (MIMO 2011.)

3.2.2 MIMO solukko-verkoissa

Alati kasvava joukko tilaajia, rajoitetut taajuusalueet ja kanavien määrä, säilyttäen kapasiteetti on yksi radiotaajuuksien suurista ongelmista. Yksi tapa ratkaista tämä ongelma on käyttää samaa kanavaa toistuvasti. Eli käyttämällä tiettyä kanavaa suorittamaan erilaiset puhelut tai tiedonsiirron samanaikaisesti. Tämän saavuttamiseen, matkapuhelimet jotka käyttävät samaa taajuutta oli sijoitettava mahdollisimman kauaksi toisistaan välttääkseen tiedonsiirron törmäyksen. Tästä syntyi käsite solumaiselle verkolle.

Solukko-verkko jakaa suuren maantieteellisen alueen pienempiin alueisiin tai soluihin. Jokainen soitettu puhelu tai tiedonsiirto voi käyttää osan käytettävissä olevasta taajuudesta, mikä tarjoaa hyviä palveluja tilaajille. Alueesta riippuen solujen koot voidaan jakaa eri tyyppisiin kuten makrosolu (1-20 km halkaisijaltaan), mikrosolu (0,1-1,0km halkaisijaltaan), pikosolu (sisäkäyttöön) ja femtosolu (toimivat pienillä lähetystehoilla ja kattavan pienen alueen). Järjestelmän kapasiteetti riippuu suurelta osin samaa taajuutta käyttävien solujen etäisyydestä toisistaan. Jokainen solu on varustettu suuntaamattomalla antennilla sen keskellä. Suuntamaton antenni on antenni, joka voi säteillä tehoa tasaisesti joka suuntaan. (Smart Antennas 2007.)



KUVA 12. Tyypillinen solukoverkon rakenne. (Cellular Network 2014).

Kuvassa 12 on esitelty peruskonsepti solurakenteesta. Kuvassa kukin kuusikulmainen alue edustaa yhtä solua ja solut ovat numeroitu sen mukaan, mitkä käyttävät samaa taajuutta. Punaisella viivalla on esitelty etäisyys, kuinka kaukana on lähin samaa taajuutta käyttävä solu toista samaa taajuutta käyttävää.

Alussa soluissa käytettiin vain suuntaamattomia antennoja, kun tilaaja määrät olivat pienempiä. Koska käyttäjien määrä kasvoi, niin syntyi liikaa häiriöitä ja kokonaiskapasiteetti kärsi. Tähän ongelmaan luotiin ns. solujen halkaisu, jolla luotiin isomman solun sisälle pienempiä soluja ja kapasiteettiä saatiin jälleen kasvatettua. Kuitenkin heikkoutena pienemmille soluille oli hinta, jota taas MIMO antenni tekniikka sai tuotua alas-päin, kun MIMOn ansiosta kapasiteettejä jälleen saatiin kasvatettua. (Smart Antennas 2007.)

4 SIMULOINTI JA 4G TEKNIKOIDEN VERTAILU

4.1 Mittaukset

Työssä oli tarkoituksena tutustua myös mahdollisiin verkon mittausmenetelmiin. Koululla oli mahdollisuutena kaksi protokolla-analysaattoria Anritsu MD8470A ja Anritsu MT 8815B. Näillä molemmilla pystyy mittamaan GSM- ja WCDMA verkon protokollavirtoja. Työhön mittauksiin valittiin MD8470A- analysaattori, johon oli valmiiksi tehdyt käyttöohjeet (Rami Lehtelä, 3G-verkon simulointi, ANRITSU MD8470A).

Samsung Galaxy S4 GT-I9505 puhelimella mitattiin LTE-verkon nopeuksia ja viiveitä käyttäen apuna Ooklan luomaa 'Speedtest.net' sovellusta sekä Soneran rajoittamatonta 4G liittymää. Speedtest mittaukset suoritettiin Tampereen Kalevan alueella ja kuudentena testituloksissa on otettu yhteys Puolassa sijaitsevaan serveriin, jonka vuoksi viive on suurempi kuin muissa jotka kaikki sijaitsevat Suomessa. Näiden mittaustulokset on esitelty liitteessä 3.

4.1.1 Anritsu MD8470A protokolla-analysaattori

Anritsu MD8470A – protokolla-analysaattori mahdollistaa GSM- ja WCDMA -protokolla virtojen mittauksen. Protokolla-analysaattoriin on sisäänrakennettu GSM- ja WCDMA – tukiasemat, jotka mahdollistavat mittaukset. Protokolla-analysaattori käyttää Windows XP -käyttöjärjestelmää ja laitteen käyttö tapahtuu normaalin PC-tietokoneen tavoin näppäimistöä ja hiirtä käyttäen. Laitteesta löytyy hallintaa varten onscreen näppäimistö ja trackball, joka toimii hiirenä mikäli erillistä hiirtä ei ole käytettävissä.

Kuvassa 13 on protokolla-analysaattorin perusnäkyminen kun laite on käynnistetty. Protokolla-analysaattorilla voi mitata erilaisilla sisäänrakennetuilla ohjelmilla esimerkiksi lokiohjelma (Control Software of the MX847010A, tämä aukeaa aina taustalle muiden ohjelmien ohella), jonka tehtävä on kirjata tärkeimmät tiedot protokollavirroista eli ohjelma toimii lokitiedostona mittausohjelmalle. Multi-cell Network Simulator (MNS) ohjelmalla voidaan toteuttaa erilaisia mittauksia solukoverkoissa, kuten solunvaihtoja (handover). Couple –UE Network Simulator (CNS) –ohjelmalla voidaan toteuttaa kah-

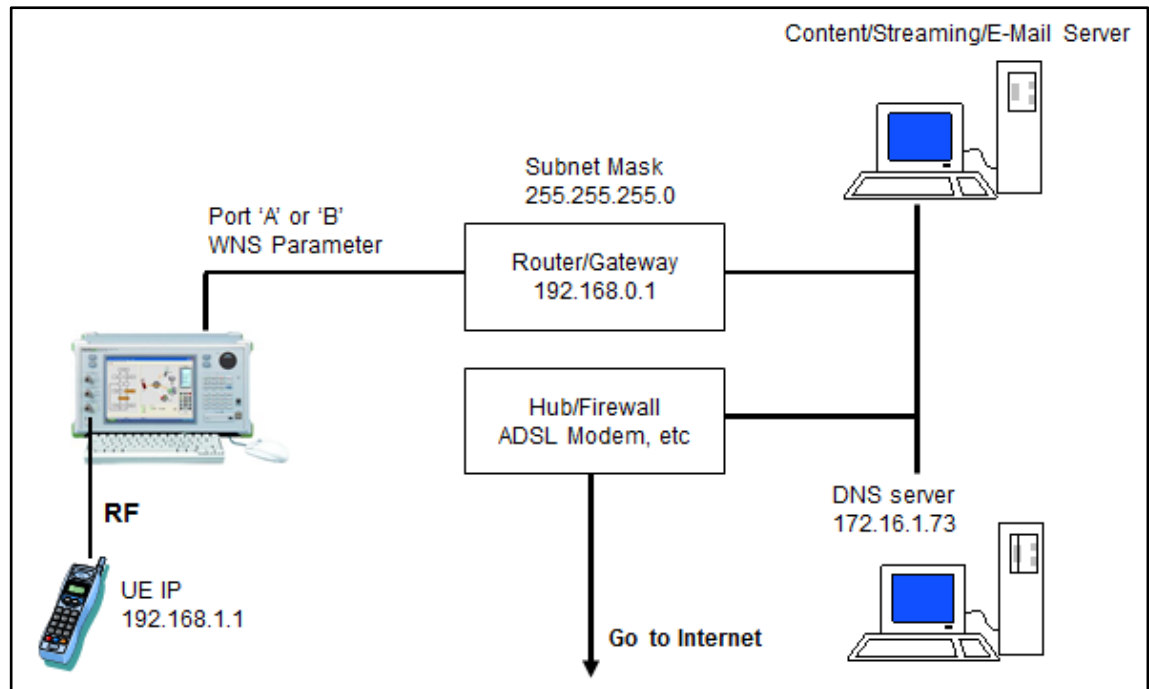
den eri päätelaitteen välistä kommunikaatiota. Wireless Network (WNS) - ohjelmalla voidaan simuloida interaktiivista matkapuhelinverkkoa. Ohjelma luo ympäristön, jonka avulla voidaan luoda erilaisia end-to-end testiympäristöjä, esimerkiksi pakettidatalle, äänipuhelulle, videopuhelulle tai SMS-viesteille jne. Tässä työssä keskityttiin mittaamaan pakettidatan siirtoa WCDMA-verkossa.



KUVA 13. Anritsu MD8470A-protokolla-analysaattori

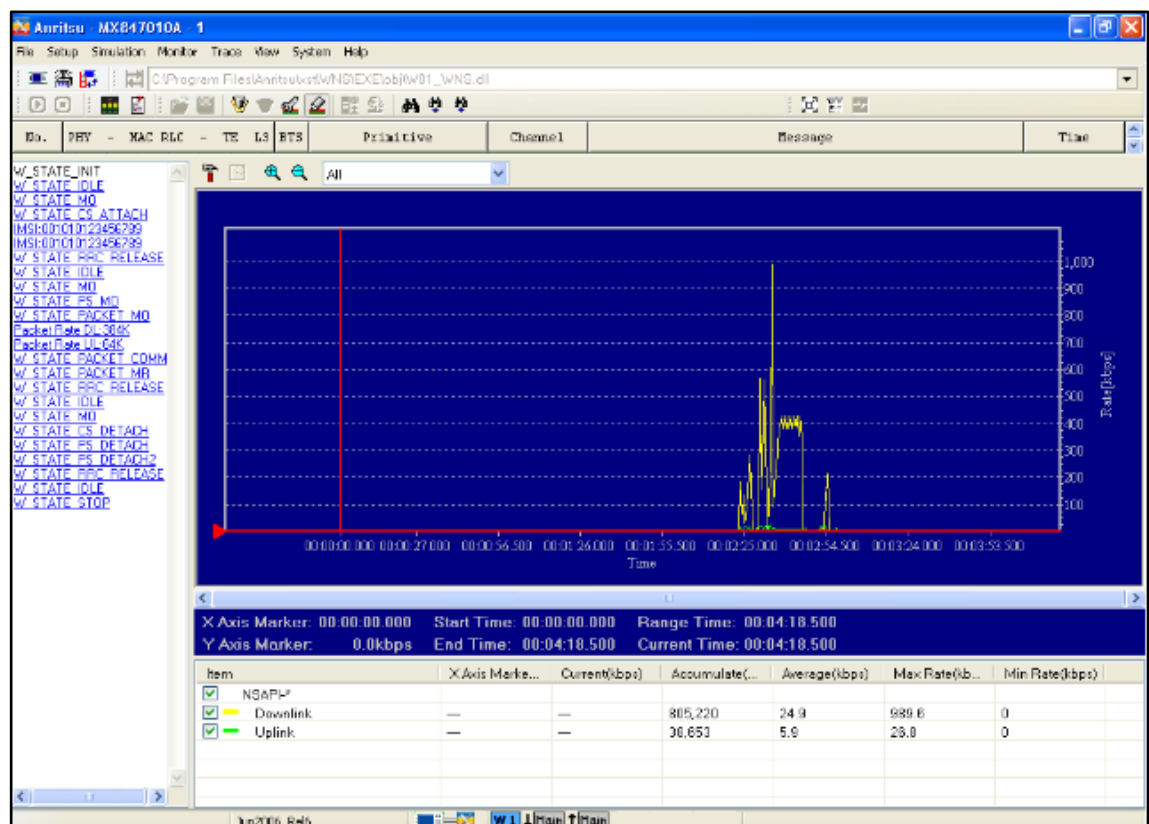
4.1.2 Pakettidatan siirto

Työ suoritettiin siten, että suoritettiin mittauskytkentä kuvan 14 mukaisesti. Kytkennässä käytettiin yhtä Nokian N-95 puhelinta, Anritsun protokolla analysaattoria sekä keskitintä ja yhtä PC:tä. Työ aloitettiin asettamalla ip-asetukset laitteisiin, jotka on otettu suoraan työssä käytetyn ohjeen mukaan ja tämän jälkeen klikkaamalla Start simulation painiketta. Tämän jälkeen puhelimeen kytketään virta ja puhelin kytkeytyy menee rekisteröinnin jälkeen idle-tilaan. Tämän jälkeen avataan päätelaitteella web-selain ja avataan jokin nettisivu esimerkiksi tässä tapauksessa www.vr.fi. Puhelimen kysyessä käytetään access pointtina Anritsua, jonka jälkeen sivu alkaa latautua. Tarkemmin vaiheet on esitelty liitteen 2 kuvissa.



KUVA 14: Mittauskytkentä (MD8470A_Connect to LAN_02.ppt)

Tuloksia voidaan tarkastella protokolla analysointilohjelmalla avautuneesta XM847010A – lokiohjelmasta, joka kirjaa tulokset simuloinnin ajalta. Kuvasta 15 on nähtävissä lokiin kirjautuneet tapahtumat sekä tiedonsiirtonopeudet DL- ja UL- suuntiin.



KUVA 15. Anritsu MX847010A-lokiohjelmasta

4.2 LTE:n VERTAILUA MUIHIN 4G TEKNIIKOIHIN

4.2.1 UMB

UMB (Ultra Mobile Broadband) on 3GPP2-projektin tuotenimitys, jonka tarkoituksena oli kehittää CDMA2000 matkapuhelinstandardi vastaamaan seuraavan sukupolven vaatimuksia. Marraskuussa 2008, UMB:n johtava sponsori Qualcomm ilmoitti lopettavansa kehityksen ja keskittyvänsä LTE:n kehitykseen. (Qualcomm 2014.) UMB:n tarkoitus oli käyttää OFDMA-tekniikkaa saavuttaakseen jopa 280 Mb/s – datasiirtonopeuden, sekä se niin ikään oli IP-pohjainen. Alla pieni yhteenveto UMB:stä:

- OFDMA-pohjainen
- Frequency Division Duplex
- Skaalautuva 1.25 – 20 MHz (OFDMA-järjestelmät on suunniteltu erityisesti leveämmille kuin 5 MHz taajuusalueille.)
- Erikoiskoisten solujen eli hierarkisen soluverkon tuki
- IP-pohjainen verkkoarkkitehtuuri
- Tiedonsiirtonopeudet yli 275 Mb/s downlink-suuntaan ja yli 75 Mb/s uplink-suuntaan

4.2.2 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) on langaton laajakaistatekniikka, joka on suunniteltu takaamaan 30 – 40 Mb/s datasiirtonopeuksia. Vuonna 2009 tulleessa 802.16–2009 päivityksessä nämä nousivat jo lähes 150 Mb/s ja uusimassa WiMAX ver.2.0 (802.16m) päivityksessä joka tuli vuonna 2011 pysyttiin takaamaan jo taajuusjakoisella 4x4 MIMO-tekniikkaa hyödyksi käyttävällä jopa 365 Mb/s downlink-suuntaan ja 376 Mb/s uplink-suuntaan. Teoriassa myös vähän liikkuvat käyttäjät yhdistäen useita kanavia voi saavuttaa jopa 1 Gb/s downlink-suuntaan olevan nopeuden.

Suurimmat erot WiMAX:illa LTE:hen on kaistanleveyden käyttö, jossa LTE:n uusin release 10(LTE-Advanced) käyttää maksimissaan 100 MHz asti kun taas WiMAX(802.16m) maksimissaan 40 MHz:iin asti.

WiMAX käyttää downlink- ja uplink- suuntiin SOFDMA, kun taas LTE-Advanced downlink-suuntaan OFDMA:ta ja uplink-suuntaan OFDMA,SC-FDMA sekoitusta. LTE-Advanced pystyy käsittelemään tiedonsiirtoa liikkuvan päätelaitteen kanssa aina 450-500 km/h nopeuteen asti, kun 802.16m(WiMAX) tukee 120 km/h asti.

WiMAX ei tue vanhempia perinteisiä 3GPP laitteita, joka tarkoittaa että esimerkiksi perinteisten 2G ja 3G laitteiden keskinäinen käyttö ei onnistu, mutta sen sijaan WiMAX 2.0 tukee vanhempia WiMAX versioita(1.0/1.5). LTE on taas taaksepäin yhteensopiva ja näin ollen mahdollistaa suoraan suuremmat markkinat. (WiMAX 2013.)

5 LTE:n TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

4G-markkinoilla LTE:n tulevaisuus näyttää vahvalta. LTE:n vahvuutena on myös monet maailman suurimmat operaattorit, jotka ovat ilmoittaneet siirtymisensä LTE:hen kolmannen sukupolven teknologiastaan.

LTE tulee olemaan johtava 4G teknologia ja varmasti kun hiljalleen myös puhelinliikenne siirtyy Internetiin niin LTE-Advanced johtaa markkinoita ennemmin kuin WiMAX 2.0. WiMAX 2.0 teoriassa on toimiva ja jopa edullisempi järjestelmä rakentaa, mutta LTE:n käyttäjämäärät ja tuki on niin paljon laajempaa, että siirtyminen WiMAX 2.0. versioon ainakaan johtavana ei tule olemaan realistista. LTE:tä tukee myös hiljattain 800MHz taajuudet, jotka tarjoushuutokaupan kautta tulee operaattoreille.

Yksi suuri syy miksi operaattorit lähtevät LTE:n matkaan on, että he haluavat suojella investointejaan vanhempiin teknologioihin. Esimerkiksi, ne eivät voi käyttää uudelleen perinteikkäiden teknologioiden käytössä olevia taajuuksia. Tuleva 3GPP päivitys release 12 tulee sisältämään useita erilaisia parannuksia, jotka parantavat muun muassa taajuuksien käytön tehokkuutta, palveluiden laatua UMTS- verkoissa jotka käyttävät HSPA teknologioita. (The 2020 vision for LTE, 2012.)

Suomessa johtavat teleoperaattorit DNA, Elisa ja TeliaSonera ovat aloittaneet 800 megahertzin LTE-verkon tukiasemien rakentamisen. 800 megahertzin taajuuden toimilupa edellyttää 95 %:sen väestönpeiton vuoteen 2017 mennessä. Aiemmin suomeen on rakennettu jo 1800 ja 2600 megahertzin taajuuksilla olevia verkkoja, mutta tämä alhaisempi taajuus sopii paremmin haja-asutusalueiden kattamiseen, koska pienemmällä taajuudella pystytään saamaan aikaan isompi solukoko, eli tukiasemien tarve ei ole yhtä tiheä kuin isommilla taajuuksilla. (Tietoviikko 17.1.2014 s.17.) Suurimpien operaattoreiden kuuluvuusalueet Suomessa on esitelty liitteessä 5.

Myöhemmin kilpailutetaan vieläkin alhaisempi taajuusluokka 700 megahertsiä, sen kauppaus olisi tarkoitus tulla 2016 vuonna.

Viiden sukupolvi eli 5G – verkot on jo suunnitteilla, vaikka 4G – tekniikoissakin on kehittämistä ja kattavuus suomessakaan ei ole kuin suurimmissa kaupungeissa, liitteessä 4 on esitelty kattavuuskartat suurimpien operaattoreiden toimesta Suomessa. 5G verkkojen

on arvioitu tulevan ensimmäisen kerran 2020- luvun alussa ja korjaavan niin sanotun kapasiteetti ongelman, joka 4G – verkoissa on. Siirtonopeudet ja kapasiteetit olisivat lähes 1000 kertaa suuremmat kuin 3G ja 4G matkapuhelinverkoissa. Viides sukupolvi todennäköisesti myös kapasiteettien kasvun johdosta keskittyy saamaan verkon virran- kulutuksen vähäisemmäksi, kattavuuden paremmaksi ja tehokkaamman bittisuhteen suuremmilla peitealueilla ja lisäksi myös edullisempiin hintoihin yksinkertaisemman arkkitehtuurin myötä.

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin neljännen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologiaa, 4G Long Term Evolutionia, sekä sen kehittymistä ja arkkitehtuuria. Lisäksi perehdyttiin LTE:n tekniikoihin ja esiteltiin 3GPP:n kehityskulkua. Työssä esiteltiin myös OFDM-, OFDMA-, SC-FDMA- ja MIMO -tekniikat. Tekniikoiden kehittymisen myötä esimerkiksi MIMO – moniantennitekniikka on luonut mahdolliseksi usean kaistan käytön samanaikaisesti, joka mahdollistaa suuremman suorituskyvyn verkoille.

Työssä toteutettiin myös operaattorin tarjoaman rajattoman 4G LTE liittymän testausta Tampereen keskustan alueella käyttäen hyödyksi Samsung Galaxy S4 (GT-I9505) ja Ooklan luomaa Speedtest.net Android sovellusta. LTE:n osalta tutustuttiin myös tulevaisuuteen ja vertailtiin muihin 4G tekniikoihin.

Tulevaisuuden näkymistä kuitenkin voidaan todeta yhteenvetona se, että tämä 4G ei vielä tule syrjäyttämään kiinteää kuituyhteyttä, koska LTE:n suorituskyky kapasiteetti on jaettu koko käyttäjäkannan kanssa, toisin kuin kiinteässä yhteydessä. Long Term Evolution tulee olemaan yksi tekniikoista, joita käytetään datan kuljettamiseen huippunopeudella myös tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold. Lokakuu 2013. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, 2nd Edition. Luettu 22.1.2014.

<http://proquest.safaribooksonline.com/book/electrical-engineering/communications-engineering/9780124199859/firstchapter>

LTE Encyclopedia 2014. J. Bennett. LTE Encyclopedia. Luettu 22.1.2014.

<https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>

3GPP 2014. LTE Release 8. Luettu 23.1.2014.

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte/>

LTE rel. 8 2014. LTE Release 8:n matkaviestinlaiteteknologia. TELETOPIX.ORG. 2014. Luettu 23.1.2014.

<http://www.teletopix.org/4g-lte/ue-capability-and-cell-site-relation-to-traffic-in-lte/attachment/3gpp-release-8-ue-categories-and-capabilities-requirement/>

3GPP - About. 2014. 3GPP - About 3GPP. Luettu 20.3.2014.

<http://www.3gpp.org/about-3gpp>

LTE Network Architecture 2013. Sassan Ahmadi. 2013. LTE-Advanced. Luettu 20.3.2014.

<http://proquest.safaribooksonline.com/book/electrical-engineering/communications-engineering/9780124051621/firstchapter>

OFDM 2013. Jouko Kurki. kevät 2013. Aalto-yliopisto – Tiedonsiirron perusteet. Luettu 22.1.2014.

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.2100/luennot/T-110_2100_luento_09.pdf

LTE OFDM Technology 2014 @tutorialspoint.com. LTE Tutorial. Luettu 24.3.2014.

http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_ofdm_technology.htm

HSCWiki 2014. Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Luettu 24.3.2014.

<http://wiki.hsc.com/Main/OFDM>

Orthogonal frequency-division multiplexing 2013. Eldad Perahia, Robert Stacey. 30.4.2013. Next Generation Wireless LANs, Second Edition. Luettu 27.3.2014.

<http://proquest.safaribooksonline.com/book/networking/wireless/9781107357419/firstchapter>

OFDM/OFDMA –Picture. Luettu 24.3.2014.

<http://bit.ly/1ckMulf>

SC-FDMA 2014. edu.colorado. 3GPP LTE - Evolved UTRA – Radio Interface Concepts. Luettu 23.1.2014.

<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>

SC-FDMA LTE 2014. IXIACOM. SC-FDMA Single Carrier FDMA in LTE. Luettu 23.4.2014

http://www.ixiacom.com/pdfs/library/white_papers/SC-FDMA-INDD.pdf

MIMO 2014. Benjamin Baumgärtner. 1.5.2005. differentiation between SISO, SIMO, MISO and MIMO wireless communication systems. Luettu 24.3.2014.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/Prinzip_MIMO.png

MIMO Wireless Networks 2013. Bruno Clerckx, Claude Oestges. 23.1.2013. MIMO Wireless Networks, 2nd Edition. Luettu 24.3.2014.
<http://proquest.safaribooksonline.com/book/networking/wireless/9780123850553/firstchapter>

MIMO 2011. Angela Amphawan. 2011. MIMO. Luettu 24.3.2013.
<http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1158393>

Smart Antennas 2007. Constantine A. Balanis, Panayiotis I. Ioannides. 2007. Introduction to Smart Antennas. Luettu 27.3.2014.
http://books.google.fi/books?id=Tsx27uY1CrsC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Cellular network 2014. Luettu 24.3.2014.
<http://www.telecomabc.com/c/cellular.html>

Qualcomm 2014. Qualcomm: Our UMB Standard. Luettu 23.1.2014.
<http://www.dailywireless.org/2008/11/13/qualcomm-our-umb-standard-furgetaboutit>

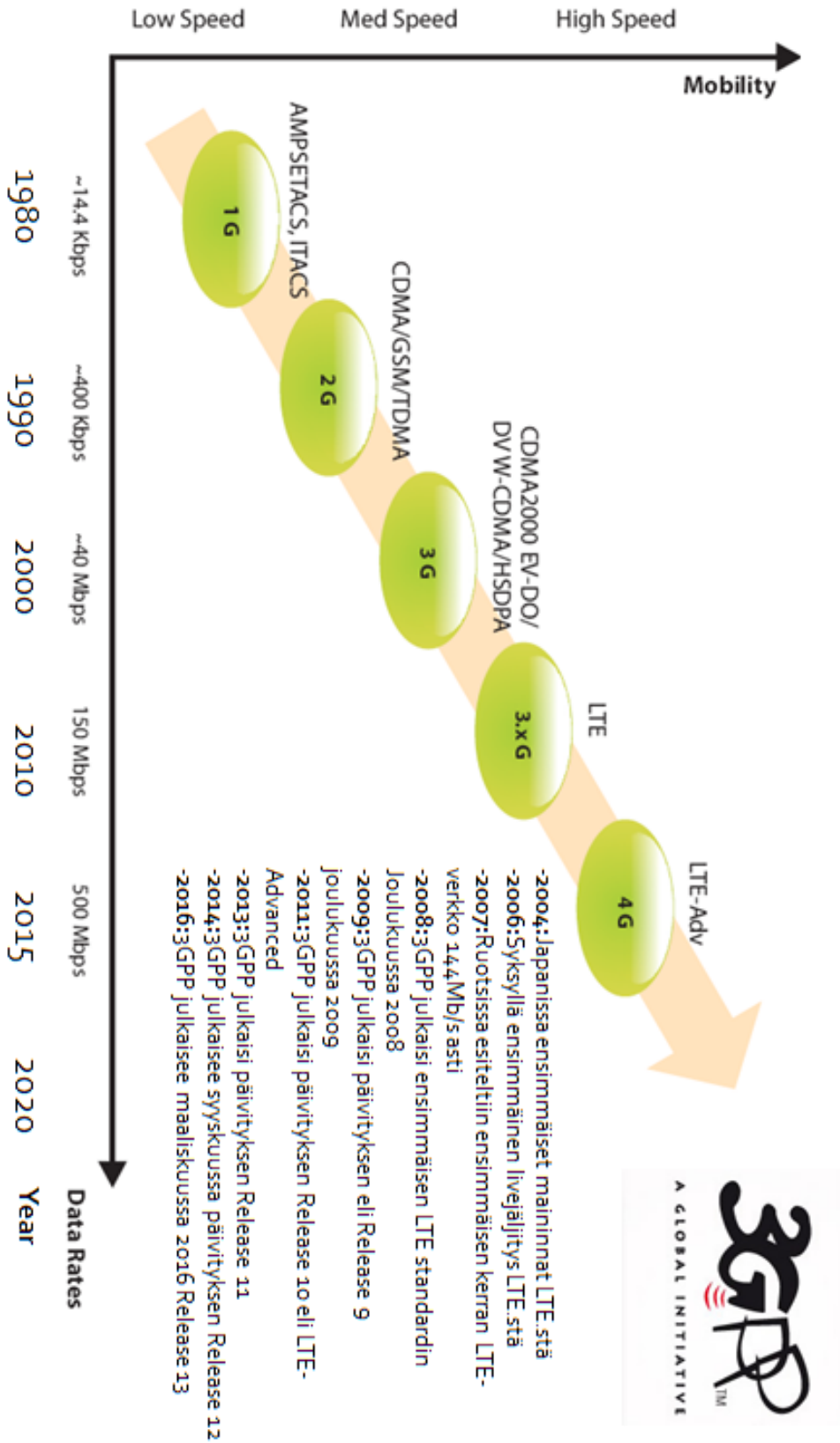
WiMAX 2013. Man Young Rhee. 6.5.2013. Wireless Mobile Internet Security, 2nd Edition. Luettu 31.3.2014.
<http://proquest.safaribooksonline.com/book/networking/wireless/9781118512944/firstchapter>

The 2020 vision for LTE, 2012. Keith Mallinson. 20.6.2012. Mallinson: The 2020 vision for LTE. Luettu 31.3.2014.
<http://www.fiercewireless.com/europe/story/mallinson-2020-vision-lte/2012-06-20#ixzz1yVRoLFcK>

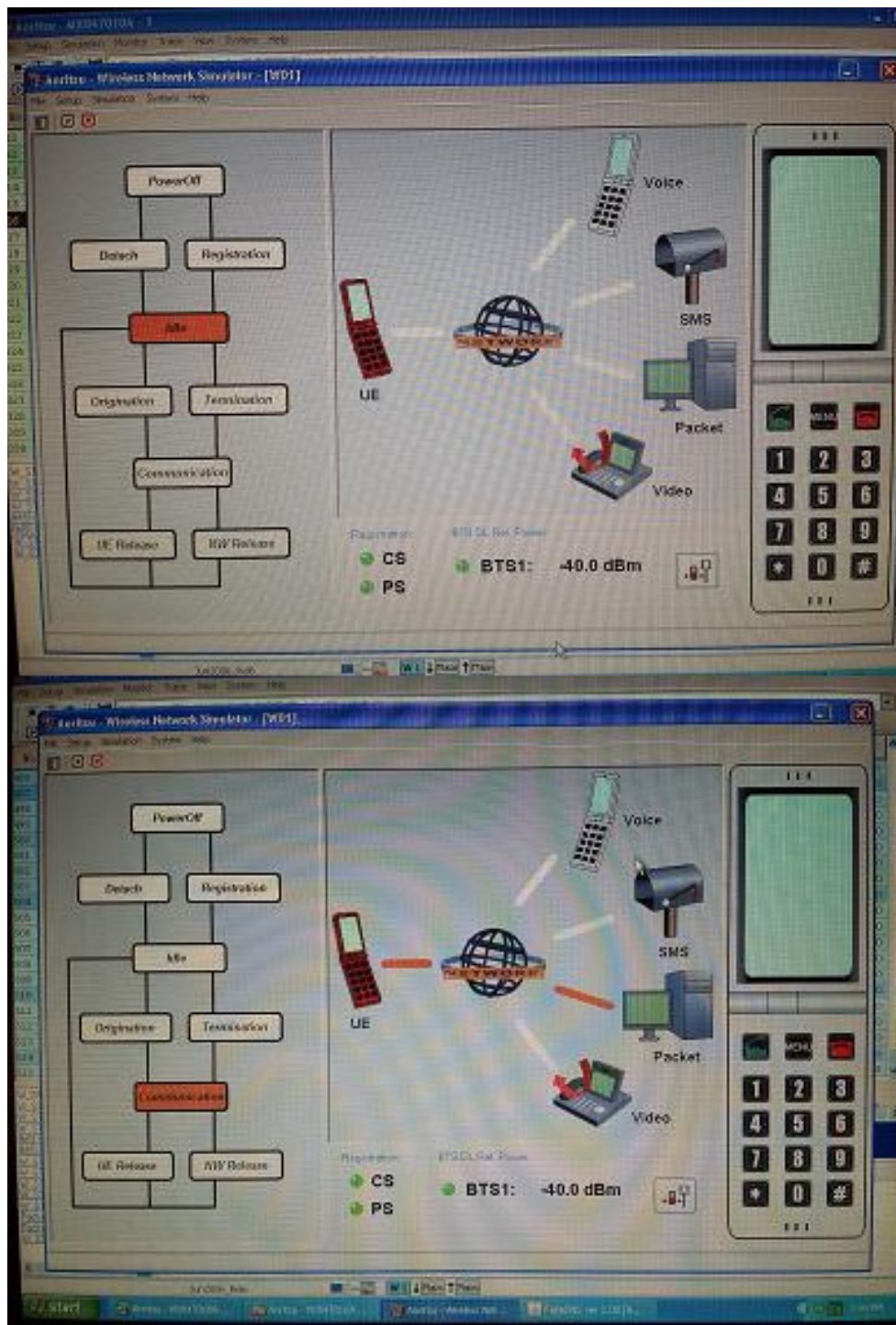
Tietoviikko 17.1.2014 s.17. 4G-verkot leviävät nopeasti Suomessa. 17.1.2014. Luettu 29.1.2014.
<http://www.tietoviikko.fi/uutisia/4gverkot+leviavat+nopeasti+suomessa+ndash+peittota+voite+jopa+3gverkkoja+laajempi/a957158>

LIITTEET

Liite 1. 3GPP kehitys

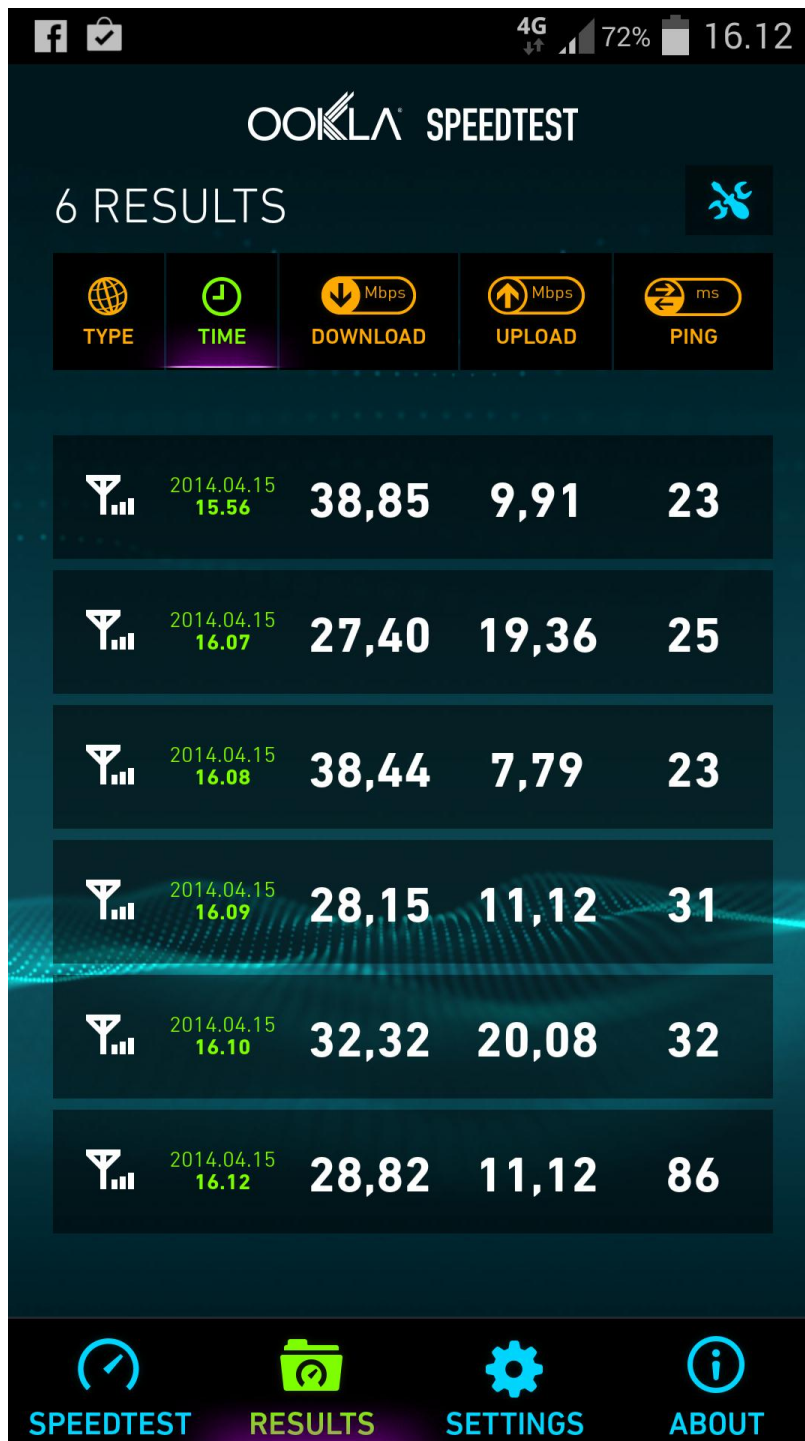


Liite 2. Anritsu MD8740A



Anritsu Wireless Network Simulator, puhelimen rekisteröinti ja kommunikointi.

Liite 3. Speedtest.net 4G nopeustesti.



Nopeustesti on suoritettu Soneran rajattomalla 4G liittymällä Tampereen Kalevassa käyttäen Samsung Galaxy S4 (GT-I9505) puhelinta. Viisi ylimmäistä mittausta on tehty Suomessa sijaitseviin servereihin ja viimeinen Puolassa sijaitsevaan.

Liite 4. LTE vs. LTE-Advanced vs. WiMAX

	LTE	LTE-Advanced	WiMAX 802.16m
Technology	MIMO Downlink: OFDMA Uplink: SC-FDMA	MIMO Downlink: OFDMA Uplink: SC-FDMA	MIMO Downlink: OFDMA, Uplink: OFDMA
Peak Speeds	Downlink/Uplink: 300/75Mbps(20MHz FDD, 2x2 MIMO Cat 5) 150/50 Mbps (Cat 4) 100/50 Mbps (Cat 3)	Downlink/Uplink: 1 Gbps / 500 Mbps Provides almost 3.3Gbps peak with 8x8 MIMO & 128 QAM	Downlink/Uplink: 110/70Mbps (20MHz TDD, 2x2 MIMO) 183/188 Mbps (2x20MHz FDD, 2x2 MIMO) 219/140 Mbps(20MHz TDD, 4x4 MIMO) 365/376 Mbps (2x20MHz FDD, 4x4 MIMO)
Duplexing	FDD and TDD	FDD and TDD	TDD and FDD
Subcarrier mapping	Localized	Localized	Localized and distributed
Subcarrier hopping	Yes	Yes	Yes
Data modulation	QPSK, 16QAM, and 64QAM	QPSK, 16QAM, and 64QAM(128QAM downlink)	QPSK, 16QAM, and 64QAM
Average user throughput	12 Mbps-50Mbps (downlink) 2 Mbps-15Mbps (uplink)	100Mbps-1Gbps (downlink) 100Mbps-1Gbps (uplink)	17Mbps-40 Mbps (downlink) Ver.1-5 10Mbps-40 Mbps (uplink) Ver.1-5
One-way airlink latency	~10ms	<5ms	~50ms
Bandwidth	20MHz, 15MHz, 10MHz, 5MHz, 3MHz, and 1.5MHz	20MHz-> 100MHz	3.5MHz, 5MHz, 7MHz, 8.75 MHz, 10 MHz
Spectrum	LTE can be deployed using various frequencies.	Flexible spectrum usage	2.3, 2.5-3.5, 5.8 GHz
Mobility	Targeted Mobility up to 350kmph	Targeted Mobility up to 500kmph	Targeted mobility up to 120kmph

LTE vs. LTE-A vs. WiMAX

Liite 5. 4G - LTE kuuluvuus Suomessa

Elisan LTE kuuluvuus Suomessa, punaisella on hahmoitettu kuuluvuusalueet.

elisa

Hae kuuluvuus osoitteella ▶

Syötä kenttään katuosoite. Lisää tarvittaessa perään myös kaupungin tai kunnan nimi

Hae osoite 🔍

Kaikki tekniikat ▶

2G	<input type="checkbox"/>	■ GSM	Max. 50 kbit/s
	<input type="checkbox"/>	■ Edge	Max. 200 kbit/s
3G	<input type="checkbox"/>	■ UMTS 900	Nopeus max. 21 Mbit/s
	<input type="checkbox"/>	■ UMTS 2100	Nopeus max. 21 Mbit/s
4G	<input type="checkbox"/>	■ UMTS Dual Carrier	Nopeus max. 42 Mbit/s
	<input checked="" type="checkbox"/>	■ LTE	Nopeus max. 100 Mbit/s

Ber

Turku Helsinki Sankt-Peterbur (Санкт-Петербург) Tallinn

Suomi (Finland)

(<https://elisa.fi/kuuluvuus/>)

Soneran LTE kuuluvuus Suomessa, violetilla on hahmoitettu kuuluvuusalueet.

Valitse maa ▼

Valitse sijainti ▼

Tampere

Etsi

Puhelut ja tekstiviestit ▼

Nettiyhteys ▼

EDGE
Saatavilla

3G
Saatavilla

Aito 4G
Saatavilla

Keskustori 4, 33100
Tampere, Suomi

Odotettu kuuluvuus: Erinomainen

EDGE	Max 256 kbit/s
3G	Max 42,2 Mbit/s
Aito 4G	Max 150 Mbit/s

Kuuluvuus

Suomi (Finland)

Turku Helsinki Tallinn Sankt-Peterbu (Санкт-Петербург)

Google Karttatiedot ©2011

(<http://www.sonera.fi/etsi+apua+ja+tukea/verkkokartat/peittoaluekartta/>)

DNA:n LTE kuuluvuus Suomessa, ruskealla on hahmoitettu kuuluvuusalueet.



(<http://kuuluvuus.dna.fi/Peittokartta/>)