

KANDIDAATINTYÖ

LTE tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuna

Seminaarityön aihe on hyväksytty 22.2.2010
Työn ohjaajana toimii prof. Jari Porras.

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillistaloudellinen tiedekunta
Tietotekniikan koulutusohjelma

Kimmo Pietiläinen

LTE tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuna

Kandidaatintyön loppuraportti

2010

29 sivua ja 8 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Professori Jari Porras

Hakusanat: LTE, mobiili verkko, SAE, 3GPP, WiMAX.
Keywords: LTE, mobile network, SAE, 3GPP, WiMAX.

Tässä kandidaatintyössä käytiin läpi kuinka LTE soveltuu tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuksi. Ensiksi selvitettiin sen kehityshistoriaa ja vaatimuksia. Seuraavaksi käytiin läpi LTE:n teknistä puolta, kuten radiotekniikkaa, taajuusjakoa ja antenneja. Työssä tehtiin katsaus myös uuteen SAE verkkoarkkitehtuuriin.

Teknillisen puolen jälkeen työssä käytiin läpi LTE:n kilpailijoita, sekä tutustuttiin tarkemmin sen pahimpaan haastajaan WiMAX:iin. Näiden kahden tekniikan välillä tehtiin myös vertailu. Lopuksi katsottiin tulevaisuuden trendejä ja mobiilin datasiirron kehittymistä sekä tutustuttiin LTE:n seuraavaan versioon LTE-Advanced:iin.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology Management
Department of Information Technology

Kimmo Pietiläinen

LTE as the future of mobile networks

Bachelor's thesis end report

2010

29 pages, 8 pictures and 2 forms

Examiner: Professor Jari Porras

Keywords: LTE, mobile network, SAE, 3GPP, WiMAX.

In this bachelor's thesis the fact of how LTE works as the mobile network solution of the future was studied. First the development history and requirements were studied. Next the technical aspects were studied, such as radio technology, duplexing and antennas. In this thesis SAE network architecture was also studied.

After the technical aspects LTE's competitors were studied with the emphasis on its worst competitor WiMAX. Also a comparison was made between these two technologies. In the end there was a look into the future trends and the development of mobile data transfer. Also LTE's next version LTE-Advanced was studied.

Alkusanat

Tämä kandidaatintyön loppuraportti on tehty Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa kurssin CT10A4000 Kandidaatintyö ja seminaari puitteissa. Työn tarkoitus on antaa lukijalle tietoa LTE:stä ja kertoa kuinka se sopii tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuksi.

Työn ohjaajana toimii professori Jari Porras Lappeenrannan teknilliseltä yliopistolta.

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	4
1.1 Tausta.....	4
1.2 Tavoitteet ja rajaukset.....	4
1.3 Työn rakenne	5
2. LTE - LONG TERM EVOLUTION	6
2.1 Radiotekniikat	7
2.1.1 OFDMA	7
2.1.2 SC-FDMA.....	8
2.2 Antennitekniikka.....	9
2.3 FDD ja TDD	10
2.4 SAE / EPC	11
2.5 VoIP ja nykyhetki	12
3. KILPAILIJAT	14
3.1 CDMA2000	14
3.2 IEEE 802.20.....	14
3.3 Wi-Fi-verkot	15
3.4 HSPA ja HSPA+	15
3.5 WiMAX	15
3.6 LTE vai WiMAX	17
4. TULEVAISUUDEN TRENDIT JA LTE	20
4.1 Mobiilin dataliikenteen kasvu.....	20
4.2 Langaton vai langallinen.....	21
4.3 LTE-Advanced.....	21
5. YHTEENVETO.....	23
LÄHTEET	24

Symboliluetelo

1xRTT	One Carrier Radio Transmission Technology
16QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation
3G	Third Generation
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
3GPP2	3 rd Generation Partnership Project 2
4G	Fourth Generation
64QAM	64 Quadrature Amplitude Modulation
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ASN	Access Service Network
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
CCSA	China Communications Standards Association
CDMA	Code Division Multiple Access
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000
CSN	Connectivity Service Network
DFTS	Discrete Fourier Transform Spread
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EV-DO	Evolution-Data Optimized
FDD	Frequency-Division Duplexing
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High-Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High-Speed Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced
ITU	International Telecommunications Union
LTE	Long Term Evolution
LTE-Advanced	Long Term Evolution Advanced

MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
MME	Mobility Management Entity
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
P-GW	PDN Gateway
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RAN	Radio Access Network
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access
S-GW	Serving Gateway
TCC	Telecommunications Technology Committee
TDD	Time-Division Duplexing
TIA	Telecommunications Industry Association
TTA	Telecommunications Technology Association
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Wi-Fi	Wireless Fidelity

1. JOHDANTO

Tässä loppuraportissa käydään läpi kuinka LTE soveltuu tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuksi. Ensiksi tutustutaan sen tekniikkaan ja sitten sen kilpailijoihin sekä tehdään vertailua sen pahimpaan kilpailijaan. Lopuksi katsotaan tulevaisuuden trendejä ja dataliikenteen kasvua sekä tutustutaan LTE:n seuraavaan versioon.

1.1 Tausta

Työssä tutustutaan LTE-tekniikkaan mahdollisena tulevaisuuden mobiiliverkkoratkaisuna. LTE on seuraava suuri askel mobiilissa radiokommunikoinnissa. Se on 3GGP:n (3rd Generation Partnership Project) standardoima ja se esitettiin ensimmäistä kertaa 3GGP Release 8:ssa vuonna 2008. Päädyin tähän aiheeseen oman mielenkiinnon mukaan sekä oppiakseni lisää alalta, jossa ovat mahdolliset tulevaisuuden työpaikkani kuten Nokia Siemens Networks ja Ericsson. Työ on teoriapainotteista, sillä yliopistolla ei ole mahdollisuuksia tehdä aiheesta konkreettisia kokeiluja tai testejä. [1]

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tavoitteena on käydä läpi LTE aivan tekniseltä tasolta alkaen ja myös verkkoarkkitehtuuria tutkien. Tutkitaan myös hieman tulevaisuuden trendejä ja katsotaan kuinka LTE vastaa niihin. Verrataan myös LTE:tä muihin mahdollisiin kilpaileviin tekniikoihin. Käydään läpi mitä uudistuksia on suunnitteilla LTE:n tulevaan 4G versioon LTE-Advanced:iin. [2]

Alun perin ajattelin käydä monia nykyisiä ja tulevia tekniikoita läpi tulevaisuutta silmälläpitäen, mutta päädyin lopulta keskittymään LTE:hen, koska nyt voin tutustua kyseiseen tekniikkaan paljon syvemmin. Työn tavoitteena on myös syventää omaa osaamista mobiileista verkoista, sekä samalla opettaa lukijoita. Tavoitteena on tietenkin myös oppia tekemään opinnäytetyötä, jotta osaan sen sitten kun tulee aika tehdä diplomityö.

1.3 Työn rakenne

Alkaen toisesta luvusta eli tekniikkakatsauksessa käydään läpi LTE:n teknillisiä puolia. Ensinnäkin mitä vaatimuksia tekniikalla on eli mihin sen pitäisi ylittää. Sitten on katsaus lataus- ja lähetystekniikoihin sekä antenneihin. Tässä osassa on myös kuvaus tekniikan verkkoarkkitehtuurista.

Vertailuluvussa käydään aluksi lyhyesti läpi millaisia LTE:n kilpailevat tekniikat ovat. Siinä on myös vertailu LTE:n ja sen pahimman kilpailijan välillä. Lopuksi katsotaan, mikä tekniikka on vahvimmillaan ja mikä mahdollisesti tulee olemaan käytetyin tekniikka seuraavalla vuosikymmenellä.

Seuraavassa luvussa käydään läpi tulevaisuuden trendejä mobiilissa tiedonsiirrossa. Samalla katsotaan kuinka LTE vastaa niihin. Tutustumme myös dataliikenteen kasvuun. Lopuksi myös käydään hieman läpi LTE:n tulevaa versiota eli LTE-Advanced:ia.

Pohdintaluvussa nimensä mukaisesti pohditaan käytyjä asioita, kuten niiden merkitystä, työn onnistumista, miten rajoitteet vaikuttivat lopputuloksiin, olisiko jollain muulla tavalla saatu parempia tuloksia ja miten työ kokonaisuutena onnistui. Tässä luvussa myös käydään läpi hieman tulevaisuutta eli miten tästä eteenpäin tämän työn osalta. Viimeisessä luvussa eli johtopäätöksessä on yhteenveto esitetyistä asioista eli käydään tiivistetysti läpi mitä on tehty.

2. LTE - LONG TERM EVOLUTION

LTE on seuraava suuri harppaus mobiilissa tiedonsiirrossa 3GPP:n mukaan. Se esiteltiin 3GPP:n Release 8-julkaisussa, jonka ensimmäiset versiot julkaistiin vuonna 2008. 3GPP on eri standardijärjestöjen yhteenliittymä, joka on vastannut nykyisten GSM (Global System for Mobile Communications) ja UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) matkaviestintäjärjestelmien kehityksestä. Sen nykyiset organisaatiokumppanit ovat ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), CCSA (China Communications Standards Association), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions), TTA (Telecommunications Technology Association) ja TCC (Telecommunications Technology Committee). Tämän myötä tutkijat ja kehittäjät ympäri maailmaa ovat mukana tukemassa ja kehittämässä LTE:tä. [3][4]

3GPP kehittää myös IP-pohjaista tietoverkkoarkkitehtuuria, jota käytetään LTE:n kanssa. Tämä on SAE (System Architecture Evolution). Se pohjautuu nykyisiin GSM ja WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) verkkoihin. Sitä on kehitetty yhteistyössä 3GPP2:n (3rd Generation Partnership Project 2) kanssa. 3GPP2 on 3GPP:n sisarorganisaatio, johon kuuluu ARIB, CCSA, TIA (Telecommunications Industry Association), TTA ja TTC. Nämä kaksi organisaatiota toimivat tavallaan kilpailijoina, jotta uusista tekniikoista tulisi mahdollisimman hyviä. Ne tekevät tässä tapauksessa yhteistyötä, jotta molempien osapuolten tekniikat olisivat yhteensopivia SAE:n kanssa. [4][5]

LTE:n kehitys alkoi vuonna 2004 ja sen päätavoitteina olivat: pienennetty kustannus per bitti, enemmän palveluja halvemmalla ja paremmalla käyttäjäkokemuksella, joustava käyttö nykyisille ja tuleville taajuuskaistoille, yksinkertaistettu arkkitehtuuri ja avoimet rajapinnat sekä kohtuullinen päätelaitteen virrankäyttö. Tässä yhteenveto alkuperäisistä LTE:n vaatimuksista: [4][6]

- Nopeat huipputiedonsiirtonopeudet: 100Mbps ladatessa, 50Mbps lähetettäessä 20MHz kaistanleveydellä.
- RAN (Radio Access Network) latenssin laskeminen 10 millisekuntiin.

- Parannettu spektritehokkuus (kaksin- tai nelinkertainen verrattuna HSPA:han (High-Speed Packet Access)).
- Kannattava migraatio edellisestä verkkoarkkitehtuurista (UTRA (Universal Terrestrial Radio Access)).
- Parannettu broadcast.
- IP optimoitu eli keskittynyt pakettikytkentäisiin palveluihin.
- Skaalautuva kaistaleveys (20MHz, 15MHz, 10MHz, 5MHz, 3MHz ja 1.4MHz).
- Tuki parillisille ja parittomille spektreille.
- Tuki vähintään 200 käyttäjälle per solu (5MHz).
- Tuki liikkuvuudelle: optimoitu 0-15km/h, 15-120km/h vielä nopeat yhteydet ja toiminta tietyin heikennyksin myös 350km/h asti.
- Toiminta on optimoitu 5km soluille, 30km soluihin asti pienellä heikentymisellä.
- Tuki yhteistoiminnalle nykyisten 3G systeemien ja tulevien ei-3GPP:n standardoimien tekniikoiden kanssa.

Lopullisesti LTE:n spesifikaatiot lyötiin lukkoon maaliskuussa 2009 3GPP Release 9:ssä, kun SAE:n spesifikaatiot olivat mukana. LTE:llä on myös vaihtoehtoinen nimi E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access). [4][6]

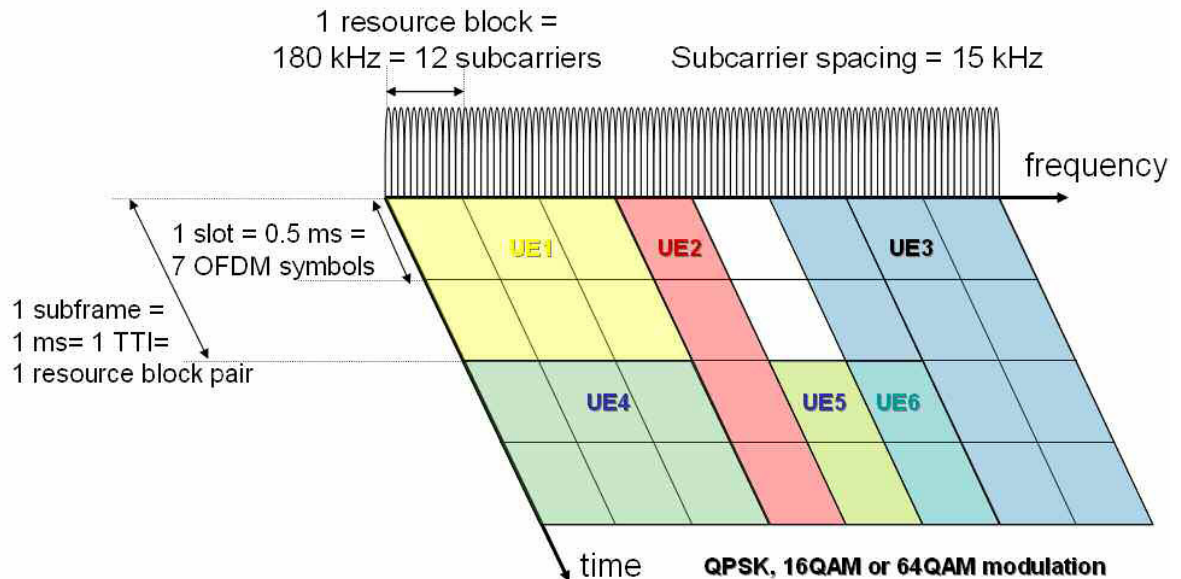
2.1 Radiotekniikat

LTE:ssä käytetään OFDMA:ta (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) downlink-tekniikkana eli tukiasemalta päätelaitteeseen ja uplink-tekniikkana SC-FDMA:ta (Single Carrier Frequency Division Multiple Access), jota myös kutsutaan DFTS OFDM:ksi (Discrete Fourier Transform Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing). OFDM on tekniikkana melko vanha ja se on nykyään käytössä esimerkiksi langattomissa lähiverkoissa ja digitaalisissa TV-lähetyksissä. [7]

2.1.1 OFDMA

OFDMA:ssa käytetään tiedonsiirrossa lukuisia kapeita toisiaan häiritsemättömiä (orthogonaalisia) kantoaaltoja yhtä aikaa. Jokaista kantoaaltoa voidaan moduloida erikseen. LTE:ssä käytetään modulointitekniikoina kolmea eri vaihtoehtoa: QPSK,

16QAM ja 64QAM. Nämä eroavat toisistaan siten, että QPSK sisältää 2 bittiä/symboli, 16QAM 4 bittiä/symboli ja 64QAM 6 bittiä/symboli. OFDMA:ta voidaan kuvata aika-taajuus-verkolla (kuva 1). Taajuuspuolella jokainen kantaalto on 15kHz välein, joilla käytössä oleva kaista täytetään. Aikapuolella taas jokaiseen symboliin lisätään suojaväli (cyclic prefix), tällä vähennetään peräkkäisten symbolien vaikutuksia toisiinsa. [7][8]



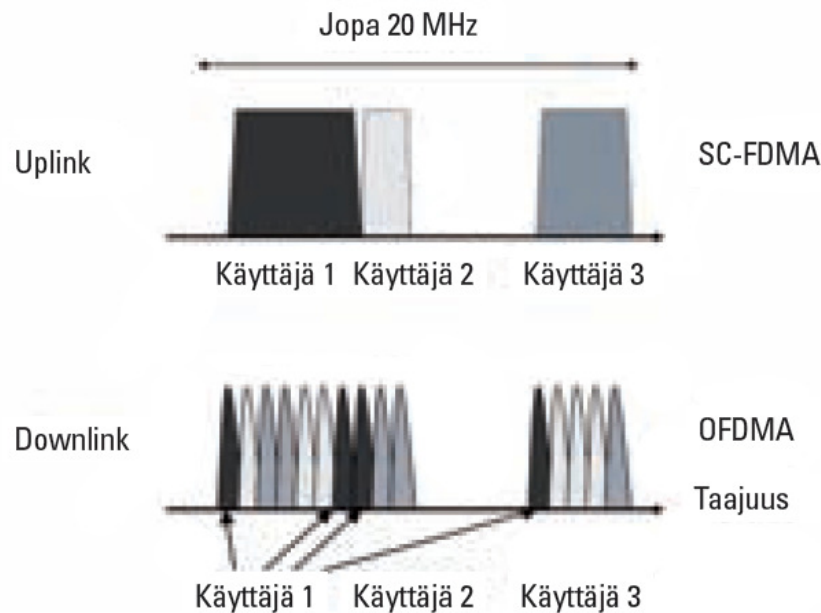
Kuva 1: OFDMA kuvaus [7]

Nämä symbolit ja kantaallot muodostavat resurssilohkoja. Yksi resurssilohko koostuu seitsemästä symbolista (ajassa 0,5ms) ja 12 kantaallosta (yhteensä 12x15kHz eli 180kHz). Jokaiselle käyttäjälle määrätään tietyt resurssilohkot ja näin voidaan tehokkaasti käyttää hyväksi kaikki tiedonsiirtokapasiteetti. Mitä enemmän näitä resurssilohkoja käyttäjä vastaanottaa ja mitä korkeampi modulaatio on kanavalla käytössä (2/4/6 bittinen) niin sitä korkeampi tiedonsiirtonopeus. Se mitkä resurssilohkot käyttäjä vastaanottaa ja kuinka monta, hoitaa edistynyt ajoitusmekanismi, joka toimii aika- sekä taajuuspuolilla. Tämä aikataulu tehdään joka millisekunti eli kahden resurssilohkon ja 180kHz kaistanleveyksien välein. Tämä systeemi on erittäin joustava ja sillä saadaan aikaan laaja kirjo erilaisia tiedonsiirtonopeuksia monille eri käyttäjille. [7][8]

2.1.2 SC-FDMA

Sen sijaan että LTE:ssä käytettäisiin molempiin suuntiin OFDMA:ta, siinä päädyttiin käyttämään SC-FDMA:ta, koska se on virrankäytöltään tehokkaampi. OFDMA:ssa on

korkea PAPR-arvo (Peak to Average Power Ratio), mikä johtuu lukuisien samanaikaisten lähellä olevien taajuuskanavien käytöstä. SC-FDMA:n pohjana on OFDMA, mutta ennen lähetystä monikantoaalto-signaali muutetaan DTFS-operaation avulla yhdeksi kantoaallokseksi (kuva 2). Tämä tekniikka käyttää myös OFDMA:sta tuttuja suojavälejä ja resurssilohkoja, mutta päätelaitteen vahvistimella on lähetysuunnassa tehokkaampi hyötysuhde, joka sopii paremmin akullisiin päätelaitteisiin. [7][8]



Kuva 2: OFDMA ja SC-FDMA ero

2.2 Antennitekniikka

LTE:ssä käytetään MIMO (Multiple Output Multiple Input) antennia. Peruskokoonpano on 2x2, jossa päätelaitteessa ja tukiasemissa on molemmissa kaksi antennia. LTE tukee myös 4x4 kokoonpanoa ja myös yksittäisiä antennia. MIMO:n hyöty tulee siitä, että esimerkiksi neljällä eri antennilla voidaan samanaikaisesti lähettää neljää eri signaalia, näin ollen parhaissa olosuhteissa nelinkertaista tiedonsiirtonopeuden. Jos käytössä on 4x4 antennia ja kaistanleveyttä on 20MHz voi LTE ylittää teoriassa jopa 326Mbps nopeuteen. Tämä on kuitenkin mahdollista vain pienen solukoon verkoissa, jotka ovat kevyessä käytössä. Jos alueella on suuri solukoko ja raskas käyttö, niin tämä ei ole mahdollista. Silloin antennia voidaan käyttää yhden signaalin parantamiseen (beamforming), näin käytetyn signaalin taso ja kantama paranevat. LTE kykenee välittömästi muuntautumaan tiettyihin kanavaoloihin säätämällä näitä samanaikaisia signaaleja jatkuvasti. [8]

2.3 FDD ja TDD

LTE:ssä käytetään molempia FDD (Frequency Division Duplexing) ja TDD (Time Division Duplexing) taajuusjakotekniikoita. FDD:ssä lataus- ja lähetystietoliikenne lähetetään samanaikaisesti erillisillä taajuuksilla (kuva 3). TDD:ssä lähetykset siirtyvät samalla taajuudella, mutta niille on varattu erilliset aikajaksot. Näin voidaan simuloida kaksisuuntaista tiedonsiirtoa samalla taajuusalueilla. FDD on näistä yleisimmin käytetty, sillä 90 % tämänhetkisistä langattomista taajuusalueista on jaettu niin, että yhdellä tekniikallaan on käytössä kaksi erillistä taajuusaluetta lataukseen ja lähetykseen. [4]



Kuva 3: FDD ja TDD [4]

LTE:ssä tuetaan molempia tekniikoita, vaikka FDD on selvästi tehokkaampi vaihtoehto, koska molempien tukeminen sallii juostavampaa taajuuksien käyttämistä. Näin ollen verkko-operaattorit voivat ottaa LTE:n käyttöön nykyisille ja uusille taajuuskaistoille. 3GPP on määritellyt mahdollisia taajuuskaistoja LTE:n käyttöön (taulukko 1). [4]

FDD bands

Band	Frequencies UL/DL (MHz)
1	1920 – 1980/2110 – 2170
2	1850 – 1910/1930 – 1990
3	1710 – 1785/1805 – 1880
4	1710 – 1755/2110 – 2155
5	824 – 849/869 – 894
6	830 – 840/875 – 885
7	2500 – 2570/2620 – 2690
8	880 – 915/925 – 960
9	1750 – 1785/1845 – 1880
10	1710 – 1770/2110 – 2170
11	1428 – 1453/1476 – 1501
12	698 – 716 /728 – 746
13	777 – 787 /746 – 756
14	788 – 798 /758 – 768
17	704 – 716/734 – 746

TDD bands

Band	Frequencies UL/DL (MHz)
33,34	1900 – 1920 2010 – 2025
35,36	1850 – 1910 1930 – 1990
37	1910 – 1930
38	2570 – 2620
39	1880 – 1920
40	2300 – 2400

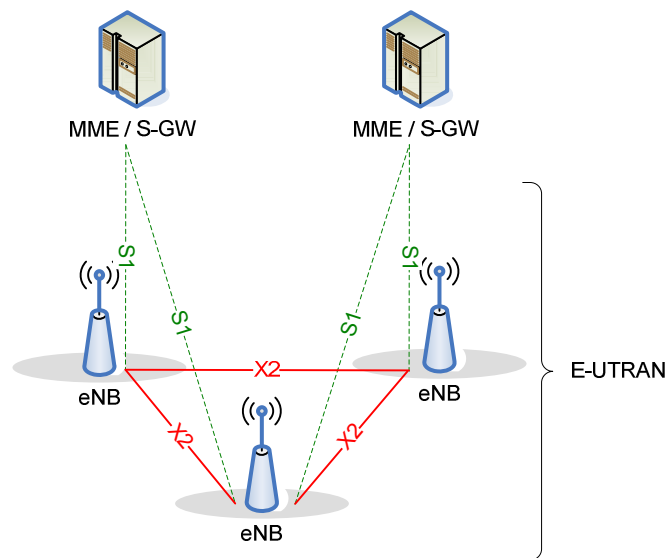
Table 1: FDD (left) and TDD (right) frequency bands defined in the 3GPP (May 2009)

Taulukko 1: 3GPP:n määrittelemät taajuusalueet LTE:lle [4]

2.4 SAE / EPC

Samalla kun LTE yleistyy muuttuvat ydinverkotkin. Tämä uusi verkkoarkkitehtuuri on nimeltään SAE tai EPC (Evolved Packet Core). Tämä uusi arkkitehtuuri on suunniteltu optimoimaan verkkotason suorituskykyä, parantamaan latenssia ja olemaan IP-pohjainen ratkaisu tukien monia eri tekniikoita LTE:n lisäksi. Tämä on operaattoreille tärkeää, sillä verkon on tuettava samalla vanhempia GSM ja HSPA tekniikoita sekä muiden standardien pakettiliikennettä. [7]

LTE:n verkko-osa eli E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) koostuu eNodeB tukiasemista, jotka ovat yhteydessä päätelaitteisiin. Nämä tukiasemat ovat toisiinsa yhteydessä X2 rajapinnan kautta ja S1 rajapinnan kautta MME:hen (Mobility Management Entity) ja S-GW:hen (Serving Gateway) (kuva 4). Tukiasemat hoitavat mm. tiedonsiirron ajastuksen sekä reitittävät dataa eteenpäin. [9]

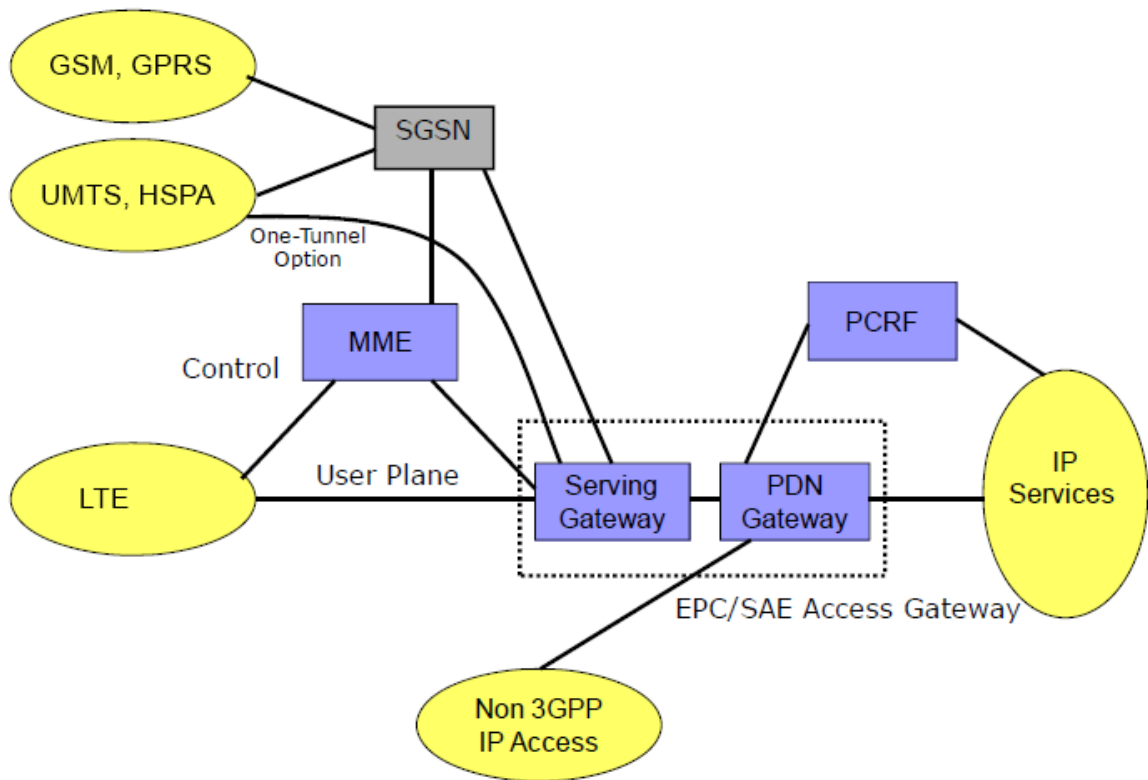


Kuva 4: LTE:n verkko-osa [9]

MME (Mobility Management Entity) on kontrollisolmu. Se hoitaa päätelaitteiden jäljityksen ja autentikoinnin. Sen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on kontrollointi LTE:n ja muiden 2G/3G tekniikoiden välillä. Se myös hoitaa roamingin ja turvallisuuskontrollin. [9]

SAE:n ydinosa (kuvassa 5 EPC/SAE Access Gateway) koostuu kahdesta eri elementistä: Serving Gateway (S-GW) ja PDN-Gateway (P-GW). Serving Gateway hoitaa pakettien

reitityksen ja siirtämisen PND Gateway:lle. PDN (Packet Data Network) Gateway hoitaa pakettien seulonnan, päätelaitteiden IP-osoitteiden jakamisen ja IP-liikenteen muualta kuin 3GPP:n omista järjestelmistä, kuten CMDA tai WiMAX -verkoista. [9][10]



Kuva 5: Kokonaisarkkitehtuuri [10]

2.5 VoIP ja nykyhetki

LTE on tekniikkana täysin IP-pohjainen eli eroaa esimerkiksi 3G UMTS tekniikasta siten että se ei sisällä piirikytkentäisyyttä. Näin ollen puheliikenne tulee tapahtumaan VoIP-tekniikalla (Voice over Internet Protocol) tai mahdollisesti käyttäen vanhoja 2G tai 3G verkkoja. LTE ei ole yksinkertainen päivitys nykyisiin verkkoihin, sillä sen teknilliset uudistukset vaativat tukiasemilta laitepäivityksiä, sekä runkoverkon nopeuspäivityksiä, jotta kaikki nopeus saadaan irti. Myös uudet kaistat on ensin varattava LTE:n käyttöön. Se onkin esimerkiksi Euroopassa hieman ongelmallista, sillä byrokratia hidastaa kaistojen sopimista ja usein maat tekevät ne itsenäisesti eri aikoihin ja taajuuksille. [10]

LTE on jo kaupallisessa testikäytössä sekä Ruotsissa että Norjassa TeliaSoneran operoimana. Tukholman ja Oslon verkot aloittivat toimintansa joulukuussa 2009.

Tukholman verkon toimitti Ericsson ja Oslon verkon toimitti Huawei. Molemmat verkot käyttävät päätelaitteinaan Samsungin kehittämää USB-donglea. Laajemmin LTE:n uskotaan leviävän vuoden 2010 aikana ja vain nopeutuvan sen jälkeen. [11]

3. KILPAILIJAT

LTE:llä on kilpailijoita monesta eri leiristä, vaikkakin osa niistä on jäänyt selvästi varjoon. Tässä luvussa käydään läpi kilpailevia tekniikoita, niiden taustaa sekä niiden nykyistä tilaa. Tosin monet ovat käytännössä pudonneet jo pelistä. Lopuksi verrataan tarkemmin LTE:tä sen suurimpaan kilpailijaan eli WiMAX:iin (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

3.1 CDMA2000

CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000) verkkoperhe on 3GPP2:n standardoima ja se oli yksi ensimmäisiä 3G-tekniikoita. CDMA2000 koostuu 1xRTT (One Carrier Radio Transmission Technology) ja EV-DO (Evolution-Data Optimized) versioista. Se on toiseksi yleisin matkapuhelinteknologia maailmassa 9,8 % markkinaosuudella ja 409 miljoonalla käyttäjällä, mitattuna vuoden 2009 ensimmäisellä neljänneksellä. 1xRTT:tä voi verrata GSM perheen GPRS:ään (General Packet Radio Service) tai EDGE:een (Enhanced GPRS). Se on kehittynyt EV-DO tekniikoihin. EV-DO -tekniikat rajataan kolmeen eri tekniikkaan: Release 0, Revision A ja Revision B. Kesäkuussa 2009 maailmalla oli 106 EV-DO Rel. 0 ja 62 Rev. A -verkkoa. [10]

Uusin EV-DO versio eli Rev. B ei ole vielä kaupallisessa käytössä eikä yksikään operaattori ole valmis sitä tukemaan (maaliskuu 2009). Tämä johtuu suureksi osin siitä, että EV-DO:n jälkeinen tekniikka jota 3GPP2 kehittää eli UMB (Ultra Mobile Broadband) (myös kutsutaan EV-DO Rev. C) on jäissä. UMB:n pääsponsorin Qualcomm ilmoitti vuonna 2008 lopettavansa sen kehityksen ja siirtyi tukemaan LTE:tä. Tästä syystä monet CDMA operaattorit Australiassa, USA:ssa, Kanadassa ja Aasiassa ovat siirtymässä joko WiMAX:iin tai LTE:hen. [10][12]

3.2 IEEE 802.20

IEEE 802.20 on mobiili laajakaistatekniikka, jonka on kehittänyt Mobile Broadband Wireless Access Working Group, joka on osa IEEE:tä (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Sen spesifikaatiot saatiin valmiiksi vuonna 2008. Tämä tekniikka

on UMB:n kanssa todella samanlainen, myös siinä mielessä, että yksikään operaattori ei ole tämän mahdollisen standardin takana. Monet operaattorit panostavat vain WiMAX:iin tai LTE:hen tällä hetkellä ja sen takia tämäkin tekniikka on tällä hetkellä jäissä. [10]

3.3 Wi-Fi-verkot

Wi-Fi (Wireless Fidelity) eli IEEE 802.11-verkot ovat nykyään erittäin yleisessä käytössä. Uusin 802.11n versio ylittää, jopa 300Mbps nopeuksiin MIMO:n kanssa. Tämä teknologia ei ole kuitenkaan LTE:n suora kilpailija, vaan se toimii päätelaitteissa yleensä toisena yhteysvaihtoehtona. Sillä vaikka Wi-Fi-verkot ovat nopeita ja käteviä, ne eivät kata suuria alueita, sekä niiden välillä liikkuminen on hankalaa. Tämän tekniikan voi sulkea ulos kilpailijoista, sillä se ei täytä kunnolla liikuttavuuden vaatimuksia. [10]

3.4 HSPA ja HSPA+

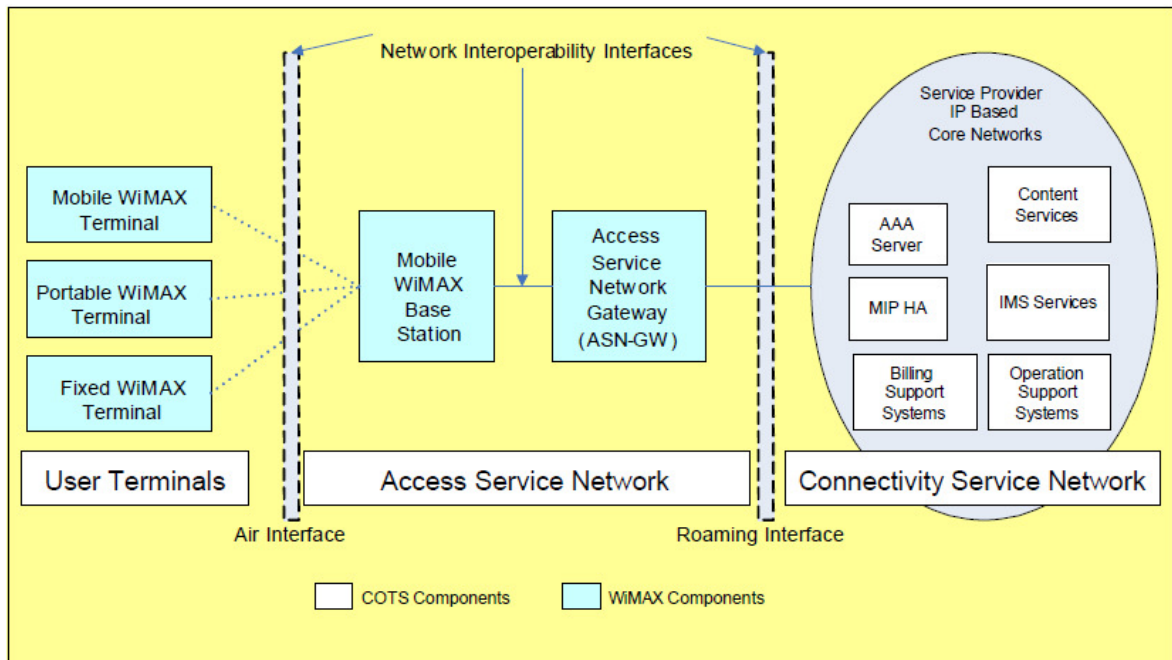
HSPA ja HSPA+ eivät tavallaan ole LTE:n kilpailijoita, sillä ne ovat saman 3GPP standardiperheen tekniikoita. Nämä kaksi tekniikkaa ovat ns. astinlautoja LTE:lle. HSPA ylittää 10/2Mbps nopeuksiin ja on suuressa suosiossa tällä hetkellä. HSPA+ eli Evolved HSPA on 3GPP:n Release 7:ssa julkaistu parannus HSPA:an. Se toi mukanaan tuen MIMO-antennitekniikalle sekä 16QAM ja 64QAM-modulaatioille. Näiden sekä muiden parannusten kautta HSPA+ ylittää teoreettisiin 42/11Mbps nopeuksiin. Mutta kuten mainittiin nämä tekniikat tulevat olemaan astinlautoja LTE:lle eivätkä varsinaisia kilpailijoita. [10]

3.5 WiMAX

WiMAX on noussut yhdeksi vaihtoehdoksi matkapuhelintekniikoille. Sen ensimmäinen versio IEEE 802.16 valmistui vuonna 2001. Tämä versio oli kiinteitä yhteyksiä varten eli se ei tarjonnut ollenkaan liikkuvuutta. Seuraava versio oli IEEE 802.16-2004. Se lisäsi monia radorajapintoja, joista yksi perustui OFDM-256:een ja toinen OFDMA:han. Kuten ensimmäinen versio, niin tämäkin tuki vain kiinteitä yhteyksiä eli ei liikuttavuutta ja oli yleisesti käytössä korvaavana tekniikkana langallisille yhteyksille. [10]

Vuonna 2005 tuli IEEE 802.16e-2005 standardi, jota kutsutaan myös Mobile WiMAX:ksi. Tämä toi liikuteltavuuden WiMAX:iin tukien mobiliteettia, tukiasemalta toiseen liikkumista ja operaattorilta toiseen liikkumista. Operaattorit ovat alkaneet rakentaa Mobile WiMAX verkkoja vuonna 2009 ympäri maailmaa. Tästä versiosta on tulossa Mobile WiMAX 1.5, joka tuo monia uudistuksia standardiin: optimointia, kuormituksen tasapainotusta, tuen paikannukseen perustuville palveluille, FDD operaation, 64QAM moduloinnin lähetyssuunnassa sekä parannuksia MIMO antennitekniikkaan. Tämä 1.5 versio on valmiina käyttöönottoon samoihin aikoihin kun LTE alkaa yleistyä. WiMAX:sta on myös kehitteillä 2.0 versio, jonka arvioidaan olevan valmis vuonna 2011. [10]

WiMAX:n verkkoarkkitehtuuri (kuva 6) on täysin IP-pohjainen. Se on yksinkertainen arkkitehtuuri, jossa päätelaitteet ovat yhteydessä tukiasemiin (Base Station), jotka ovat yhteydessä ASN-GW:hen (Access Service Network Gateway). ASN-verkko-osa on yhteydessä CSN-verkko-osaan (Connectivity Service Network). CSN hoitaa IP-liitettävyyden WiMAX asiakkaille sekä hoitaa myös muita tehtäviä kuten autentikoinnin, oikeudet, laskutuksen ja roamingin. [13]



Kuva 6: WiMAX arkkitehtuuri [13]

3.6 LTE vai WiMAX

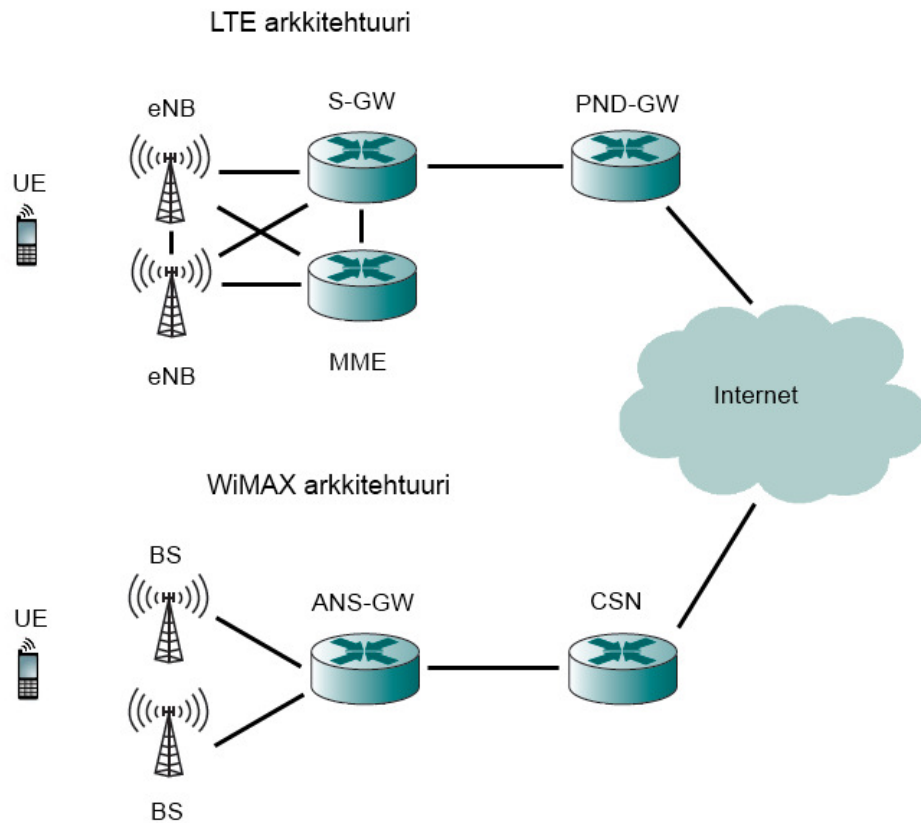
Periaatteessa kilpailu tulevaisuuden langattomasta datasiirrosta on LTE:n ja WiMAX:n välillä. Muut tekniikat eivät ole tarpeeksi kypsiä tai niillä ei ole tukijoita takanaan. LTE on verrattavissa WiMAX release 1.5 version, sillä se vastaa LTE:tä parhaiten, koska molemmat ovat samassa vaiheessa kehityksessään. WiMAX:n 2.0 versio kilpailee sitten aikanaan LTE-Advancen kanssa 4G-nopeuksissaan, kunhan ne valmistuvat. Taulukossa 2 on keskeiset tekniset tiedot molemmista tekniikoista. [10][14]

	LTE	WiMAX Release 1.5
Taajuusjakotekniikka	FDD ja TDD	FDD ja TDD
Kanavan kaistanleveys	20MHz asti	20MHz asti
Modulointi	64QAM	64QAM
Downlink	OFDMA	OFDMA
Uplink	SC-FDMA	OFDMA
Mobiliteetti	350 km/h	120 km/h
Antennitekniikat	MIMO (4x4 asti)	MIMO (4x4 asti)
Kehysten koko	1ms	5ms

Taulukko 2: LTE ja WiMAX

Kuten taulukosta näkee molemmat tekniikat ovat tekniseltä puoleltaan melko samanlaisia. Tästä johtuen niiden teoreettiset nopeudet ovat myös melkein samanlaiset. Ainoa suurempi ero on uplink-tekniikassa, jossa LTE on parempi virrankulutukseltaan. Toinen ero on lähetettävien kehysten koossa. LTE:ssä on käytössä 1ms kehyskoko, jonka ansiosta sen latenssi on WiMAX:ia marginaalisesti parempi. Nämä tekniset asiat eivät kuitenkaan tule ratkaisemaan kilpailua näiden kahden standardin välillä, sillä ne ovat liian samanlaisia, jotta toinen olisi selvästi parempi. [10][14]

Molemmat tekniikat ovat myös arkkitehtuureiltaan (kuva 7) yksinkertaisia verrattuna vanhempiin 2G ja 3G –tekniikoihin. Ne ovat myös helppoja laajentaa tukiasemia lisäämällä. WiMAX on tosin hieman LTE:tä yksinkertaisempi, sillä LTE:n verkossa on yleensä mukana myös tuki vanhemmille tekniikoille, joiden takia verkko-osan protokollapino on suurempi. [14]



Kuva 7: LTE ja WiMAX pelkistetyt arkkitehtuurit

WiMAX-tekniikoilla on tällä hetkellä markkina-aikaetu. Nykyaikaisia WiMAX-verkkoja on ollut rakenteilla ja vuodesta 2008 asti. LTE-verkkoja on vasta harvoissa paikoissa kaupallisessa testikäytössä. Toisaalta LTE:n takana on 3GPP tekniikoiden markkinadominointi. Siinä missä WiMAX verkkoja joudutaan rakentamaan tyhjästä, on LTE:n edeltäjien eli GSM/HSPA verkkoja maailmanlaajuisesti. LTE:n etuna tulee olemaan vaivaton siirtyminen vanhempiin 2G ja 3G -verkkoihin siirryttäessä solun kantamalta ulos tai soitettaessa puheluita. Kustannusten osalta kumpikaan tekniikka ei ole selvästi voitolla, sillä molemmissa joudutaan rakentamaan uutta. Myös kaistojen osalta molemmat tekniikat tarvitsevat uusia 20MHz kaistoja toimiakseen täydellä teholla. [10][14]

Ratkaisu tulee tapahtumaan operaattoreiden ja investoijien osalta. Molemmilla tekniikoilla on takanaan suuria operaattoreita eripuolella maailmaa. Verkkojen rakentajien osalta LTE:llä on ehkä hieman paremmat edellytykset, sillä tämän hetken suurin toimija alalla eli Ericsson on LTE:n puolella. Tällä hetkellä WiMAX on suuremman asemassa markkina-aikaetunsa vuoksi, mutta LTE on tulossa voimakkaasti seuraavana 3GPP:n tekniikkana. Selvää voittajaa on tässä vaiheessa vaikea ennustaa. Luultavasti molemmat tekniikat

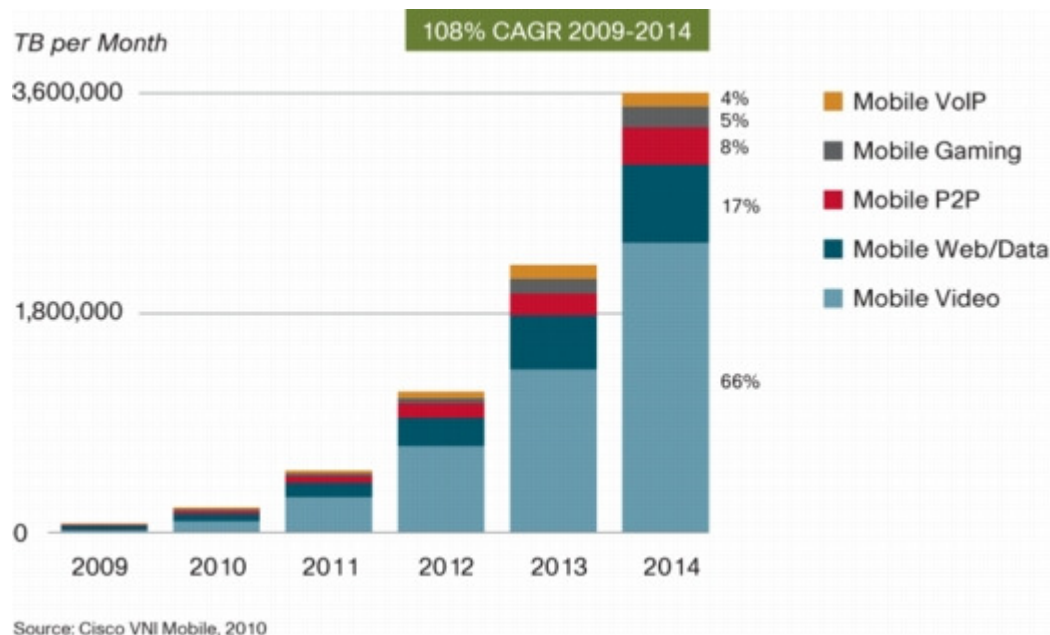
tulevat toimimaan samaan aikaan eikä selvää voittajaa ole, tai sitten voittaja ratkeaa vasta 4G-tekniikoiden aikana eli 2-5 vuoden päästä. [10][14]

4. TULEVAISUUDEN TRENDIT JA LTE

Nykyään ihmiset ovat yhteydessä internetiin monilla eri tavoin, oli se sitten makkula, matkapuhelin tai langallinen yhteys. Yksi asia on kaikilla kuitenkin sama, he tarvitsevat aina enemmän ja enemmän kaistaa. Videopalvelut ovat kasvaneet viime vuosina erittäin nopeasti. Streaming-palvelut kuten Youtube tai suomalaisittain Nelosen Ruutu tai MTV3:n Katsomo vaativat, että ihmisillä on nopeat yhteydet, jotta niistä voidaan nauttia täysillä. IP-TV on myös kasvattanut asemaansa viime vuosina ja HD-kanavien katsomiseen tarvitaan 10Mb yhteyksiä. Myös erilaisten musiikki/video-latauksien määrät ovat kasvaneet, kuten myös erilaiset P2P-palvelut. Myös tulevat pilvilaskentaan perustuvat palvelut vaativat paljon kaistaa, jota on oltava kokoajan ja missä tahansa saatavilla.

4.1 Mobiilin dataliikenteen kasvu

Cisco ennustaa, että maailmanlaajuisesti mobiili dataliikenne tulee kaksinkertaistumaan joka vuosi aina vuoteen 2014 asti. Vuonna 2014 se tulee olemaan 39-kertainen verrattuna vuoteen 2009 eli kasvu tulee olemaan räjähdysmäistä. He ennustavat myös, että videon osuus tästä liikenteestä tulee olemaan 66 % vuoteen 2014 mennessä (kuva 8). [15]



Kuva 8: Mobiilin tietoliikenteen jakaantuminen [15]

Tämä kasvu selittyy kuvassa olevien palveluiden kasvulla, mutta myös sillä että ihmiset todella haluavat liikutettavuutta. Laitteiden osalta suurin nousija tulee olemaan erilaiset kannettavat tietokoneet ja muut langattoman datasiirron hallitsevat kannettavat laitteet. Näiden osuus tulee olemaan 70 %, kun esimerkiksi älypuhelinien osuudeksi arvioidaan 21 % vuonna 2014. Loput 9 % jakautuvat siten normaalien puhelimien ja erilaisten kotona käytettävien kiinteiden liittymien kesken. [15]

4.2 Langaton vai langallinen

Aluksi langattomat vaihtoehdot olivat ainoa mahdollisuus. Nykyään langallinen ja langaton elävät rintarinnan ja yleensä langattomat yhteydet ovat toisiaan täydentäviä. Nyt nopeuksien kasvaessa nämä kaksi vaihtoehtoa alkavat väistämättä kilpailemaan toistensa kanssa, sillä langattomat vaihtoehdot pystyvät siihen suoritustasoon, missä langalliset olivat noin 5-10 vuotta sitten. Varsinkin kehittyvissä maissa langattomat 3G-tekniikat yleistyvät nopeasti. Infrastrukturi on helpompaa ja halvempaa tehdä langattomasti, varsinkin monille kotikäyttäjille alueilla, missä ei ole puhelinlinjoja. Langattomat tekniikat tulevat luultavasti aina olemaan langattomia edellä mitä tulee kapasiteettiin, mutta langattomat tekniikat ovat käytössä periaatteessa missä vain ja monille käyttäjille liikuteltavuus on suurempi hyöty kuin nopeus. [10]

4.3 LTE-Advanced

LTE ei ole vielä ns. 4G-tekniikka. Se ei täytä niitä vaatimuksia, mitä IMT-Advanced asettaa. Tämän vaatimuksen on määrittänyt ITU-R-organisaatio, mikä on osa YK:n alaista ITU (International Telecommunications Union) virastoa, joka hallinnoi informaatio- ja tietoliikenneasioita. Yksi IMT-Advancedin vaatimuksista on se, että 4G-tekniikan on pystyttävä jopa 1 Gbps nopeuksiin alhaisella liikutettavuudella, mihin yksikään nykyinen langaton tekniikka ei kykene. Vastaus tähän on LTE:n seuraava versio eli LTE-Advanced. Se on tällä hetkellä 3GPP:n kehitteillä ja ensimmäisten spesifikaatioiden pitäisi tulla julki Release 10:ssä vuoden 2010 loppupuolella. 3GPP haluaa uuden LTE-Advancedin sopivan ITU:n raameihin myös siksi, että ITU tulee hallinnoimaan uusia käyttötaajuusjakoja ja IMT-Advanced:n läpäisevät tekniikat ovat niissä ykkössijalla. [2][16][17]

LTE-Advanced:ssa tulee 3GPP:n mukaan olemaan seuraavia vaatimuksia:

- 1 Gbps huippunopeus 4x4 MIMO:lla ja 70MHz leveämmällä kaistanleveydellä.
- Kaksinkertaistunut kaistankäytön tehokkuus LTE:hen verrattuna.
- 1,4-1,6 kertaa parempi kapasiteetti solun reunoilla LTE:hen verrattuna
- Kaistojen käytön joustavuus sekä tuki laajemmille kaistoille.
- LTE-Advanced:n tulee olla taaksepäin yhteensopiva LTE:n kanssa päätelaitteiden käytön osalta.
- Lisääntynyt sisätilojen tukiasemien käyttö.

LTE-Advanced:ssa tullaan käyttämään kehittyneempiä versioita sen nykyisistä tekniikoista, kuten OFDMA:sta sekä parempia MIMO-antenniratkaisuja suuremmilla kaistanleveyksillä saavuttaakseen tämän 1 Gbps rajan. Kuten kävi HSPA:n ja LTE:n kanssa, niin luultavasti tästäkin tekniikasta tulee käytettävissä olevat verkot ja laitteet noin kaksi vuotta tekniikan julkaisusta eli aikaisintaan vuonna 2012. [10][17]

5. YHTEENVETO

Työssä perehdyttiin aluksi LTE:hen sen radio- sekä antennitekniikoiden, arkkitehtuurin sekä nykyhetken kautta. Tämän jälkeen tutustuttiin kilpailijoihin ja painotettiin WiMAX:ia, verraten sitä tarkemmin LTE:hen. Lopuksi katsottiin mitä tulevaisuudessa voidaan odottaa mobiililta tiedonsiirrolta, sekä LTE:n tulevaa versiota LTE-Advanced:ia.

Työn perusteella voidaan sanoa, että LTE kykenee vastaamaan tulevaisuuden mobiilien verkkojen vaatimuksiin. Sen avulla operaattorit voivat tarjota asiakkailleen korkean suorituskyvyn ja massamarkkinoille kykenevän langattoman laajakaistapalvelun. Tämän se saavuttaa korkean bittinopeuden ja tehokkaan suorituskyvyn kombinaatiolla, joka toimii molempiin suuntiin, sekä alhaisella latenssilla. LTE:n arkkitehtuuri on suunniteltu yksinkertaiseksi sekä joustavaksi, jotta operaattorit voivat ottaa sen käyttöön monille eri taajuuksille. Se integroi myös edeltävät tekniikat, jotta sen käyttö olisi niiden kanssa mahdollisimman vaivatonta.

LTE ei tule olemaan ainoa mobiilin tiedonsiirron tekniikka. Se tulee elämään rinnakkain WiMAX:n kanssa. WiMAX on tällä hetkellä paremmassa asemassa markkina-aikaetunsa takia, mutta LTE:llä on suuri tuki takanaan. Näillä näkymin vain LTE-Advanced ja WiMAX Release 2.0 tulevat olemaan tulevaisuuden 4G-tekniikoita. On myös huomioitavaa kuinka mobiilit tiedonsiirtojärjestelmät ovat siirtymässä sekalaisesta piiri- ja pakettikytkentäisyydestä täysin pakettikytkentäisiin ratkaisuihin LTE:n ja WiMAX:n toimesta.

LÄHTEET

- [1] LTE – 3GPP. [Viitattu: 5.4.2010] Saatavissa: <http://www.3gpp.org/LTE>
- [2] LTE-Advanced – 3GPP. [Viitattu: 5.4.2010] Saatavissa: <http://www.3gpp.org/LTE-Advanced>
- [3] 3GPP Partners – 3GPP. [Viitattu: 5.4.2010] Saatavissa: <http://www.3gpp.org/partners>
- [4] Long Term Evolution (LTE) – an introduction, Ericsson, kesäkuu 2009. [Viitattu: 5.4.2010], Saatavissa: http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/whitepapers/lte_overview.pdf
- [5] About 3GPP2 – 3GPP2. [Viitattu: 5.4.2010] Saatavissa: http://www.3gpp2.org/Public_html/Misc/AboutHome.cfm
- [6] LTE/SAE – 3GPP. [Viitattu: 5.4.2010], Saatavissa: ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008_web_files/LTA_Paper.pdf
- [7] UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction, Tekijä: Rohde & Schwartz , 11.1.2008. [Viitattu: 7.4.2010] Saatavissa: http://www2.rohde-schwarz.com/file_10948/1MA111_2E.pdf
- [8] Key features of the LTE radio interface – Ericsson, Tekijät: Dahlman, Furuskär, Jading, Lindström, Parkvall, 2008. [Viitattu: 7.4.2010] Saatavissa: http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2008_02/files/6_LTE.pdf
- [9] 3GPP TS 36.300 – Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2. [Viitattu: 8.4.2010] Saatavissa: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36300.htm>
- [10] HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced, Tekijä: Rysavy research – 3G Americas, syyskuu 2009. [Viitattu: 6.4.2010] Saatavissa:

http://www.rysavvy.com/Articles/2009_09_3G_Americas_RysavyResearch_HSPA-LTE_Advanced.pdf

[11] TeliaSonera first in the world with 4G services – TeliaSonera, 3.10.2010. [Viitattu: 10.4.2010] Saatavissa: <http://www.teliasonera.com/News-and-Archive/Press-releases/2009/TeliaSonera-first-in-the-world-with-4G-services/>

[12] Qualcomm halts UMB project – Reuters, 13.11.2008. [Viitattu: 12.4.2010] Saatavissa: <http://www.reuters.com/article/idUSN1335969420081113?rpc=401&>

[13] Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation. WiMAXforums, 2006. [Viitattu 20.4.2010] Saatavissa: http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf

[14] LTE and WiMAX comparison at a Glance – WiMAX-Forum, 2008. [Viitattu: 6.4.2010] Saatavissa: http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/page/2009/12/wimax_and_lte_oct_29_08.pdf

[15] Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2009-2014 – Cisco, 9.2.2010. [Viitattu: 12.4.2010] Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html

[16] About ITU – ITU. [Viitattu: 12.4.2010] Saatavilla: <http://www.itu.int/net/about/>

[17] Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE-Advanced) – 3GPP, Tekijä: Takehiro Nakamura, 15.10.2009. [Viitattu: 12.4.2010] Saatavissa: http://www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf