

3GPP LONG TERM EVOLUTION

Ville Vartiamäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan ja tietoverkkojen suuntautumisvaihtoehto

VILLE VARTIAMÄKI:
3GPP Long Term Evolution

Opinnäytetyö 33 sivua
Toukokuu 2012

LTE on matkapuhelintekniikka, jolla saavutetaan suurempi tiedonsiirtonopeus ja pienempi viive kuin aikaisemmillä matkapuhelintekniikoilla. LTE-tekniikkaa kehittää 3GPP-järjestö, joka koostuu kuudesta tietoliikennealan standardointijärjestöstä ympäri maailmaa. Ensimmäinen 3GPP:n julkaisema LTE-julkaisu oli Release 8.

Suuri tiedonsiirtonopeus ja pieni viive saavutetaan uusilla tekniikoilla ja järjestelmäarkkitehtuurin kehittämisellä.

Aikaisemmissa matkapuhelinjärjestelmissä signaalin monitie-eteneminen on aiheuttanut häiriötä vastaanottimessa. LTE:ssä monitie-etenemisen kautta tulleet signaalit käytetään hyödyksi MIMO-tekniikan avulla. MIMO-tekniikassa päätelaitteessa ja tukiasemassa käytetään useita antennia.

LTE:ssä käytetään OFDM-tekniikkaan pohjautuvia modulointitekniikoita. Tukiasemassa ja päätelaitteessa käytetään eri modulointitekniikkaa. Tukiasemassa käytetään OFDMA-modulointitekniikkaa, jolla voidaan siirtää tietoa usealle käyttäjälle samaan aikaan. Läheteen tehovaihteluista aiheutuvien ongelmien vuoksi päätelaitteessa käytetään vähemmän tehoa käyttävää SC-FDMA-modulointitekniikkaa.

Radorajapinnan uudistukset ja täysin pakettikytkentäiseen järjestelmään siirtyminen edellyttivät järjestelmäarkkitehtuurin kehittämistä. LTE:ssä järjestelmäarkkitehtuurin kehittämisestä käytetään nimitystä SAE. LTE:ssä SAE:ta on yksinkertaistettu ja palveluja tuotu lähemmäksi päätelaitetta, jotta viive saadaan minimoitua.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Information and Communication Technologies
Telecommunications and Networks

VILLE VARTIAMÄKI:
3GPP Long Term Evolution

Bachelor's thesis 33 pages
May 2012

LTE is a standard for wireless communication of mobile phones and data terminals. It is based on the GSM and UMTS technologies, increasing the speed and reducing the delay. The standard is developed by the 3GPP. 3GPP has six organizational partners from all over the world. LTE was first time specified in 3GPP release 8.

Fast data transmission and small delay can be achieved with new technologies and with System Architecture Evolution (SAE).

In previous cellular systems multipath signal propagation has been a problem. In LTE MIMO employs multiple antennas on the receiver and transmitter to utilise the multipath effects that always exist to transmit additional data, rather than causing interference.

OFDM based modulation technologies are used in LTE. OFDMA is used in base station and SC-FDMA is used in data terminal. OFDMA allows simultaneous data transmission from several user. SC-FDMA has low peak to average ratio and it uses less power than OFDMA.

Evolution in radio interface and use of packet switched services only, required evolution in system architecture. Known as SAE – System Architecture Evolution. New architecture has been developed to provide higher level of performance.

Key words: LTE, 3GPP, MIMO, OFDMA, SC-FDMA, SAE

SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT	5
1 JOHDANTO.....	9
2 LTE-TEKNOLOGIAN KEHITYS	10
2.1 3GPP LTE.....	11
2.2 Kehittäjät.....	11
2.3 Kehitys	12
2.4 Tekniikat	13
2.5 LTE-A	14
3 TEKNIIKAT	15
3.1 MIMO	15
3.1.1 MIMO päätelaitteessa	15
3.1.2 MIMO-tilat	15
3.1.3 Tilallinen limitys	16
3.1.4 Aika-tila-koodaus	16
3.1.5 MIMO tukiasemassa	17
3.2 OFDM.....	17
3.2.1 OFDMA	18
3.2.2 SC-FDMA	19
4 SAE	21
4.1 SAE:n tavoitteet	21
4.2 SAE rakenne ja toiminta	22
4.2.1 Päätelaite	23
4.2.2 Tukiasema	24
4.2.3 Liikkuvuudenhallintayksikkö.....	25
4.2.4 Palveleva yhdyskäytävä	25
4.2.5 Pakettidataverkon yhdyskäytävä.....	26
4.2.6 Käytäntö- ja laskutusyksikkö	26
4.2.7 Tilajien tietokantapalvelin.....	26
4.2.8 Palvelut.....	27
5 PROTOKOLLAT	28
5.1 Hallintatason protokollat.....	28
5.2 Käyttäjätason protokollat.....	29
5.3 Tukiasemien väliset protokollat.....	30
6 YHTEENVETO	31
LÄHTEET.....	32

LYHENTEET JA TERMIT

3GPP	3rd Generation Partnership Project on usean standardointijärjestön yhteisö, joka kehittää muun muassa LTE-teknologiaa.
ACIF	Communications Alliance on 3GPP-yhteisön jäsen.
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line on tiedonsiirtotekniikka, jolla voidaan saavuttaa 24 Mbit/s nopeus puhelinlinjaa käyttäen.
ARIB	The Association of Radio Industries and Businesses on 3GPP-yhteisön jäsen ja LTE-teknologian kehittäjä.
ATIS	The Alliance for Telecommunications Industry Solutions on 3GPP-yhteisön jäsen ja LTE-teknologian kehittäjä.
AuC	Authentication Center huolehtii tietoturvaan ja salaukseen liittyvistä toiminnoista matkapuhelinverkossa.
CCSA	China Communications Standards Association on 3GPP-yhteisön jäsen ja LTE-teknologian kehittäjä.
CDMA	Code Division Multiple Access on radiotien kanavanvaraustekniikka.
CDMA 2000	Code Division Multiple Access 2000 on CDMA-tekniikkaan perustuva matkapuhelinteknologia.
DFT	Discrete Fourier Transform on menetelmä jota käytetään OFDM-tekniikassa.
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial on digitaalitelevision lähetyjärjestelmä, jossa käytetään maanpäällistä lähetyverkkoa eli antenniverkkoa.
eNodeB	Evolved Node B nimitystä käytetään tukiasemasta LTE-järjestelmässä.
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network on LTE-järjestelmän radorajapinta.
GUTI	Global Unique Temporary Identity on väliaikainen tunniste, jota käytetään päätelaitteen turvallisen yhteyden varmistamiseksi.
EPC	Evolved Packet Core nimitystä käytetään LTE-teknologian runkoverkosta.
EPS	Evolved Packet System on LTE-järjestelmän osa, jonka tarkoituksena on siirtää paketteja operaattorin ja päätelaitteen välillä.
ETSI	European Telecommunications Standard Institute on riippumaton ja voittoa tavoittelematon eurooppalainen telealan standardointijärjestö.
GTP-U	General Packet Radio System Tunneling Protocol User Plane on protolla, jota käytetään tiedonsiirtoon radorajapinnan ja runkoverkon välillä.

HLR	Home Location Register on LTE-runkoverkon elementti, johon on tallennettuna matkapuhelinliittymän tietoja.
HSDPA	High-Speed Downlink Packet-Access on matkapuhelintekniikka, joka mahdollistaa 42 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden tukiasemasta päätelaitteeseen.
HSPA	High-Speed Packet Access koostuu HSDPA- ja HSUPA-tekniikoista, ja sen avulla voidaan parantaa tiedonsiirtonopeutta.
HSS	Home Subscription Server on LTE-runkoverkon elementti, jonka tehtävä on huolehtia muun muassa tietoturvaan liittyvistä asioista.
HSUPA	High-Speed Uplink Packet-Access on matkapuhelintekniikka, joka mahdollistaa 7.2 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden päätelaitteesta tukiasemaan.
IETF	Internet Engineering Task Force on Internet-protokollien standardoinnista vastaava organisaatio.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity nimitystä käytetään matkapuhelinliittymän puhelinnumerosta.
IPv4	Internet Protocol version 4, eli Internet-protokollan neljäs versio.
IPv6	Internet Protocol version 6, eli Internet-protokollan kuudes versio.
ISACC	ICT Standards Advisory Council of Canada on 3GPP-yhteisön jäsen.
ITU	International Telecommunication Union on yhdistyneiden kansakuntien yksikkö, joka kehittää tietoliikenneteknologioita.
LTE	Long Term Evolution on neljännen sukupolven matkapuhelinteknologia.
LTE-A	LTE-Advanced on LTE:n seuraaja.
MAC	Medium Access Control kanavoi ylemmät protokollat fyysiseen siirtotiehen.
MIMO	Multiple Input Multiple Output tarkoittaa tietoliikennetekniikkaa, jossa sekä vastaanottoon että lähetykseen käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia.
MME	Mobile Management Entity on LTE-runkoverkon elementti, jonka tehtävä on huolehtia muun muassa päätelaitteen sijainnin seurannasta
MM	Mobility Management tarkoittaa liikkuvuuden hallintaa.
MU-MIMO	Multi-User MIMO on tekniikka jota käytetään LTE-tukiasemassa. Sen avulla monta käyttäjää voi olla samaan aikaan yhteydessä samaan resurssi-lohkoon.
NAS	Non-Access-Stratum on korkeimmalla tasolla hallintatason protokollarakenteessa. Sen tehtävä on muun muassa hallita päätelaitteen liikkuvuutta.

node	Tietoverkon solmukohta.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex on modulointitekniikka, joka perustuu tiedonsiirtoon useilla taajuuskanavilla samanaikaisesti.
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access on OFDM-tekniikkaan perustuva modulointitekniikka, joka mahdollistaa tiedonsiirron usealle käyttäjälle samanaikaisesti.
PAPR	Peak to Average Power Ratio on suure, jolla kuvataan OFDM-lähetteen tehokäyttäytymistä.
P-GW	Packet Data Network Gateway on LTE-runkoverkon elementti, jonka tehtävä on huolehtia muun muassa IP-osoitteen antaminen päätelaitteelle.
PDCP	Packet Data Convergence Protocol on protokolla, jota käytetään päätelaitteissa ja tukiasemassa muun muassa tiedonsiirtoon.
QoS	Quality of Service tarkoittaa palveluntasoa.
QWERTY	Yleisintä kirjoituskonetyyppisten näppäimistöjen asettelua kutsutaan QWERTY-asetteluksi, koska sen ylimmän kirjainrivin kuusi ensimmäistä näppäintä muodostavat tämän kirjainyhdistelmän.
RAM	Random Access Memory tarkoittaa yleensä tietokoneen keskusmuistia.
RLC	Radio Link Control on protokolla jota käytetään päätelaitteissa ja tukiasemassa.
RRC	Radio Resource Control on protokolla, jonka tehtävä on ohjata MAC-RLC- ja PDCP-kerroksia tukiaseman ja päätelaitteen välisessä tiedonsiirrossa.
RRM	Radio Resource Management, eli radioresurssien hallinta, hallitsee muun muassa radion käyttöä.
S1-AP	S1 Application Protocol on protokolla, jota käytetään S1-rajapinnassa. S1-rajapintaa käytetään tukiaseman ja MME:n välillä.
SAE	System Architecture Evolution eli järjestelmäarkkitehtuurin kehitys.
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access on päätelaitteissa käytetty OFDM-tekniikkaan perustuva modulointitekniikka.
SCTP	Stream Control Transmissio Protocol on protokolla, jota käytetään tiedonsiirtoon tukiaseman ja MME:n välillä.
SDMA	Spatial Domain Multiple Access on tekniikka jossa esimerkiksi useat päätelaitteet voivat olla samaan aikaan yhteydessä tukiaseman resurssilohkoon tukiaseman eri antennien kautta.

S-GW	Serving Gateway on LTE-runkoverkon elementti, jonka tehtävä on muun muassa ylläpitää datayhteyksiä tukiasemiin.
SGSN	Serving GPRS Service Node on 3G-runkoverkon elementti.
TTA	Telecommunications Technology Association on 3GPP-yhteisön jäsen ja LTE-teknologian kehittäjä.
TTC	Telecommunications Technology Committee on 3GPP-yhteisön jäsen ja LTE-teknologian kehittäjä.
TIA	Telecommunications Industries Association on 3GPP-yhteisön jäsen.
UE	User Equipment eli päätelaite, jota loppukäyttäjä käyttää viestimiseen.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System on kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.
VoIP	Voice over Internet Protocol on protokolla, jonka avulla voidaan siirtää reaaliaikaisesti ääntä IP-protokollaa käyttävän verkon välityksellä.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access on UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta.
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access on langaton laajakais-tatekniikka.
WLAN	Wireless Local Area Network eli langaton lähiverkkotekniikka, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita.
WWW	World Wide Web on Internet-verkossa toimiva hajautettu hypertekstijär-jestelmä
X2	X2 on tukiasemien välisessä tiedonsiirrossa käytetty rajapinta.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään LTE-tekniikkaan (Long Term Evolution). LTE on nopea 4G-tekniikka, jolla voidaan saavuttaa 100 Mbit/s-tiedonsiirtonopeus. Suuri tiedonsiirtonopeus saavutetaan uusilla tekniikoilla ja järjestelmäarkkitehtuurin kehittämisellä.

IP-paketti on Internet-protokollan perusyksikkö ja Internetissä kaikki informaatio siirretään paketeissa. LTE on ensimmäinen matkapuhelintekniikka, jossa kaikki informaatio, myös puhe ja tekstiviestit, välitetään Internetin tapaan IP-paketteina.

LTE on myös ensimmäinen 4G-tekniikka, jossa tiedonsiirtoon tukiasemalta päätelaitteeseen ja päätelaitteelta tukiasemaan käytetään eri radiotekniikkaa. Tiedonsiirtoon tukiasemalta päätelaitteeseen käytetään OFDMA-tekniikkaa ja päätelaitteesta tukiasemaan SC-FDMA-tekniikkaa.

Uusien tekniikoiden myötä LTE-järjestelmän rakennetta on voitu yksinkertaistaa. LTE:ssä järjestelmäarkkitehtuurin kehittämisestä käytetään nimitystä System Architecture Evolution (SAE).

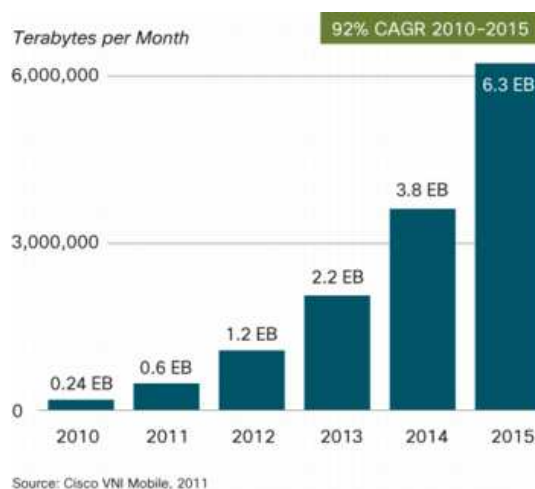
Tässä opinnäytetyössä keskitytään LTE:n kehitykseen, tekniikoihin ja järjestelmäarkkitehtuuriin.

2 LTE-TEKNOLOGIAN KEHITYS

On mielenkiintoista huomata, kuinka uudet pienet älypuhelimet ovat paljon enemmän kuin pelkkiä puhelimia. Ne ovat todellisuudessa pieniä tietokoneita, joissa on monia samoja ominaisuuksia kuin kannettavissa tai pöytämallisissa PC-tietokoneissa:

- Näyttöpaneeli 1280x800 pikselin tarkkuudella
- 1.4 GHz tuplaydinsuoritin ja 1 Gigatavua RAM-muistia
- QWERTY-näppäimistö, joko virtuaalinen kosketusnäytölle renderöity tai fyysinen
- Käyttäjätasvällinen graafinen käyttöliittymä
- Internet palvelut, Web-selain, sähköposti ja WLAN
- Käyttöjärjestelmä, johon on tarjolla runsaasti ohjelmia ja pelejä
- Reaaliaikaiset 3D-verkkopelit

Älypuhelimien ominaisuuksien ja suorituskyvyn lisääntyminen mahdollistaa älypuhelimien entistä monipuolisemman ja miellyttävämmän käytettävyyden. Koska laitteet ovat kehittyneet sille tasolle, että niitä voidaan käyttää Internet-selailuun, pelailuun tai viestittelyyn siinä missä kannettavia tietokoneitakin, on selvää, että datamäärät matkapuhelinverkoissa ovat kasvaneet ja tulevat kasvamaan. On odotettavissa, että tullaan tarvitsemaan yhtä suurta tai suurempaa tiedonsiirtonopeutta kuin johdollisissa verkoissa.



Kuva 1. Ennuste matkapuhelinverkoissa siirretystä datan määrästä [1].

Cisco Mobilen julkaisemasta ennusteesta näkyy, kuinka matkapuhelinverkoissa siirretyn datan määrä miltei kaksinkertaistuu verrattuna edelliseen vuoteen (kuva 1).

2.1 3GPP LTE

LTE on 3GPP-järjestön kehittämä ja standardisoima 4G-tekniikka. LTE-lyhenne tulee sanoista Long Term Evolution, nimellä viitataan pitkän aikavälin kehitykseen. LTE:n avulla saadaan toteutettua suurempi tiedonsiirtonopeus ja pienempi viive kuin aiemmilla 3G-tekniikoilla. Lisäksi LTE:n käytöllä pyritään vähentämään operaattoreiden kuluja ja parantamaan palveluita.

2.2 Kehittäjät

LTE:n kehityksestä vastaa 3GPP (3rd Generation Partnership Project). 3GPP on usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio, joka luo ja kehittää matkapuhelinverkkojen standardeja.

3GPP-organisaatio koostuu kuudesta tietoliikennealan standardointijärjestöstä ympäri maailmaa:

- ARIB (The Association of Radio Industries and Businesses), Japani
- ATIS (The Alliance for Telecommunications Industry Solutions), USA
- CCSA (China Communications Standards Association), Kiina
- ETSI (The European Telecommunications Standards Institute), Eurooppa
- TTA (Telecommunications Technology Association), Korea
- TTC (Telecommunication Technology Committee), Japani [3]

Organisaatiolla on myös havainnoijia, jotka seuraavat organisaation toimintaa. Tällä hetkellä 3GPP:llä on kolme havainnoijaa:

- TIA (Telecommunications Industries Association), USA
- ISACC (ICT Standards Advisory Council of Canada), Kanada

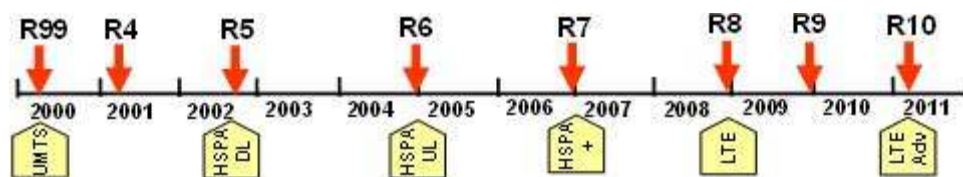
- ACIF (Communications Alliance), Australia [4]

2.3 Kehitys

3GPP on kehittänyt WCDMA-tekniikkaa (Wideband Code Division Multiple Access) 3GPP:n perustamisvuodesta 1998 alkaen. Tärkeimmät 3GPP:n julkaisut näkyy kuvassa kaksi.

Ensimmäinen WCDMA-julkaisu, Release 99, julkaistiin vuonna 1999. Julkaisu sisälsi WCDMA:n perusominaisuudet ja teoreettinen maksiminopeus oli 2 Mbps. Seuraavaan julkaisuun mennessä 3GPP hylkäsi vuosittaisen julkaisukäytännön ja vaihtoi julkaisun nimeämiskäytännön. Release 4 julkaistiin maaliskuussa 2001, julkaisu sisälsi TDD low chip rate -tekniikan. Release 5 julkaistiin maaliskuussa 2002 ja se sisälsi HSDPA-tekniikan (High Speed Packet Downlink Access), sitä seurasi Release 6 HSUPA-tekniikalla (High Speed Uplink Packet Access). Release 7 julkaistiin heinäkuussa 2007, julkaisu toi mukanaan monia HSDPA- ja HSUPA-tekniikoiden parannuksia [12, s.13].

Release 8 oli ensimmäinen LTE-julkaisu, siinä otettiin käyttöön OFDM-pohjaiset modulointitekniikat, täysin IP-pohjainen verkko ja parannettiin HSDPA- ja HSUPA-tekniikoita. Release 8 -radiatorajapinta ei ole yhteensopiva aikaisempien Release-versioiden kanssa. Release 9 julkaistiin vuoden 2009 lopussa, julkaisussa parannettiin WiMAX:n ja LTE:n yhteensopivuutta ja HSDPA:n MIMO-ominaisuuksia. Release 10 oli ensimmäinen LTE-A-julkaisu, ja se on yhteensopiva Release 8 kanssa [12, s.13].



Kuva 2. 3GPP julkaisu-aikataulu [13].

LTE:n ja sen 3G-edeltäjien välillä on merkittäviä eroja. LTE:tä pidetäänkin osana 4G-tekniikkaa ja sen kehitystä. Vaikka LTE:ssä käytetään OFDMA- ja SC-FDMA-tekniikoita CDMA-tekniikan sijaan, siinä on monia yhteneväisyyksiä aiempiin 3G-järjestelmiin. LTE:ssä käytetään muun muassa HSDPA- ja HSUPA-tekniikoita.

Taulukossa 1 on esitetty WCDMA-, HSPA-, HSPA+- ja LTE-tekniikoiden ominaisuuksia. LTE on täysin IP-pohjainen verkko, joka käyttää IPv4- ja IPv6-protokollaa. Piirikytkentää ei siis LTE:ssä enää käytetä. LTE käyttää myös MIMO-tekniikkaa, eli usean antennin käyttöä lähettimessä ja vastaanotimessa.

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Maksimilatausnopeus	384 kbit/s	14 Mbit/s	28 Mbit/s	100 Mbit/s
Maksimilähetyksenopeus	128 kbit/s	5.7 Mbit/s	11 Mbit/s	50 Mbit/s
Viiveaika keskimäärin	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP-julkaisut	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Julkaisu vuosi	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Yhteystekniikka	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA
Kytkentä	piiri ja paketti	piiri ja paketti	piiri ja paketti	vain paketti
Usean antennin tekniikat	hyvin rajoitetut	hyvin rajoitetut	hyvin rajoitetut	Kyllä

Taulukko 1. Matkapuhelintekniikoiden ominaisuuksia [2].

2.4 Tekniikat

LTE sisältää monia uudistuksia verrattuna aikaisempiin matkapuhelinjärjestelmiin. Uudistuksien avulla saadaan toteutettua pienempi viive ja nopeampi datansiirtoyhteys. Seuraavaksi muutamia LTE:n uudistuksia, joita käsitellään tässä opinnäytetyössä.

OFDM-tekniikka (Orthogonal Frequency Division Multiplex) on otettu käyttöön, koska se mahdollistaa suuren tiedonsiirtonopeuden, ja siinä on korkea sietokyky monitie-etenemiselle ja häiriöille. Tukiasemassa ja päätelaitteessa käytetään eri modulointitekniikkaa. Tukiasemassa käytetään OFDMA:ta (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), kun SC-FDMA:ta (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) käytetään päätelaitteissa. Päätelaitteissa käytetään SC-FDMA:ta, koska se kuluttaa vähemmän tehoa kuin OFDMA [2].

Se mikä on ollut aikaisemmissa matkapuhelinjärjestelmissä ongelma, muutetaan LTE:ssä MIMO-tekniikan (Multiple Input Multiple Output) avulla hyödyksi. Signaalien monitie-etenemisestä on aikaisemmin ollut haittaa, MIMO-tekniikkaa käyttämällä mo-

nitie-etenemisen signaaleita voidaan käyttää hyödyksi ja näin parantaa suorituskykyä [2].

MIMO tarkoittaa usean antennin käyttöä päätelaitteessa ja tukiasemassa. MIMO:ssa voidaan käyttää esimerkiksi 2x2-antennikokoonpanoa, eli kaksi lähettävää antennia tukiasemassa ja kaksi vastaanottavaa antennia päätelaitteessa. Monen antennin käyttö tukiasemassa on kohtalaisen helppoa, mutta sama ei päde päätelaitteisiin, joissa antennien tulisi olla vähintään puolen aallonpituuden mitan etäisyydellä toisistaan [2].

Jotta LTE:n suuri nopeus ja pieni viive saataisiin toteutettua, täytyy kehittää myös verkon arkkitehtuuria. LTE:ssä verkon arkkitehtuurin kehittämistä kutsutaan System Architecture Evolutioniksi (SAE). SAE:ssa verkon arkkitehtuuria on yksinkertaistettu ja palveluja tuotu helpommin saataviksi, näin viiveaikaa on saatu pienennettyä ja data voidaan ohjata suoraan sen määränpäähän [2].

2.5 LTE-A

LTE-A (LTE-Advanced) on LTE:n kehittyneempi versio, jolla voidaan saavuttaa 1 Gbps tiedonsiirtonopeus. Lokakuussa 2010 kansainvälinen televiestintäliitto ITU (International Telecommunication Union) hyväksyi LTE-A:n 4G-tekniologian tekniikaksi. Joulukuussa 2010 ITU ilmoitti, että myös LTE-tekniikasta voidaan käyttää 4G-nimitystä.

3 TEKNIIKAT

3.1 MIMO

MIMO-tekniikka (Multiple Input Multiple Output) on huomattava osa LTE-järjestelmää. MIMO-menetelmien avulla voidaan laajentaa verkon kattavuusaluetta, kasvattaa datansiirtonopeutta ja lisätä solun käyttäjämäärää. Käytännössä MIMO tarkoittaa useamman kuin yhden antennin käyttämistä tukiasemassa tai/ja päätelaitteessa.

3.1.1 MIMO päätelaitteessa

LTE:ssä päätelaitteelle on asetettu oletusarvoksi 2x2-antennikokoonpano. 2x2-antennikokoonpanolla tarkoitetaan, että tukiasemassa on kaksi antennia ja päätelaitteessa kaksi antennia. LTE:n kahdeksannessa julkaisussa 2x2-antennikokoonpano on määritetty pakolliseksi kategorioiden 2, 3, 4 ja 5 päätelaitteissa ja 4x4-antennikokoonpano on määritetty pakolliseksi kategorian 5 päätelaitteissa [5].

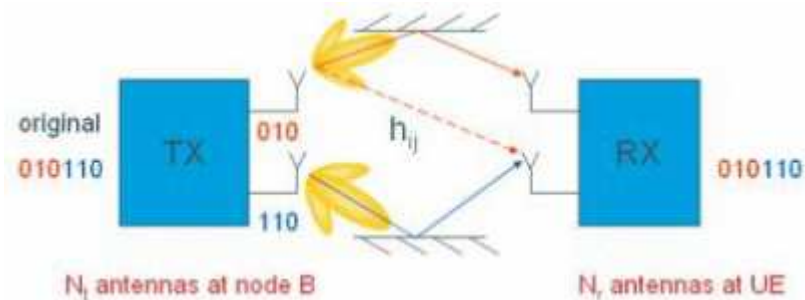
Antennin valitsemista käytettäessä voidaan hyödyntää kahden tai useamman päätelaitteantennin etuja, mutta silti pitää päätelaitteen hinta alhaisena. Esimerkiksi jos päätelaitteessa on kaksi lähetinantennia, mutta vain yksi lähetinjärjestelmä ja vahvistin, tällöin kytkin valitsee käyttöön sen antennin, jossa on paras yhteys tukiasemaan [5].

3.1.2 MIMO-tilat

Yleisimmin käytettyjä tiloja ovat tilallinen limitys (spatial multiplexing) ja aika-tilakoodaus (transmit diversity). Mikäli siirtotien kunto on hyvä, käytetään tiedonsiirtonopeuden maksimointiin pyrkivää tilallista limitystä, muuten käytetään tiedonsiirron luotettavuuteen pyrkivää aika-tila-koodausta [5].

3.1.3 Tilallinen limitys

Tilallista limitystä käytetään, kun pyritään maksimaaliseen tiedonsiirtonopeuteen. Tilallinen aikalimitys mahdollistaa eri datavirtojen lähettämisen samanaikaisesti samalle vastaanottolohkolle/lohkoille. Datan lähettäjä jakaa datavirran osiin ja lähettää eri osat eri antenneilla samanaikaisesti. Vastaanottopäässä vastaanotetut datavirran osat kootaan taas yhdeksi datavirraksi. Jokainen vastaanottava antenni saattaa vastaanottaa jokaisen lähettävän antennin datavirran [5]



Kuva 3. Tilallinen limitys [8, s.15].

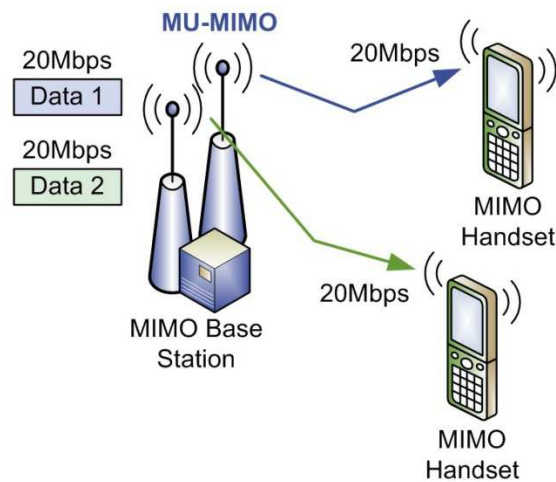
Kuvassa 3 on esitetty, kuinka lähettäjän antennit lähettävät erilaisiin osiin jaettua datavirtaa ja kuinka vastaanottajan antennit voivat vastaanottaa datavirtoja lähettäjän jokaisesta antennista ja monitie-etenemisen kautta.

3.1.4 Aika-tila-koodaus

Datanopeuksien tai kapasiteetin nostamisen lisäksi MIMO-tekniikkaa voidaan hyödyntää muussakin, kuten tiedonsiirron luotettavuuden takaamisessa. Aika-tila-koodausta on käytetty jo aiemmin WCDMA-järjestelmissä, ja nyt se muodostaa osan LTE:tä yhtenä MIMO-tilana. Aika-tila-koodausta käytetään, kun signaaliolosuhteet ovat huonot ja signaali alkaa häipyä. Tällöin käytetään esimerkiksi kahta antennia lähettämään sama datavirta, ja näin saavutetaan luotettavampi datansiirto [5].

3.1.5 MIMO tukiasemassa

LTE-tukiasemissa käytetään MU-MIMO-tekniikkaa (Multi-User MIMO). MU-MIMO:ssa useat päätelaitteet voivat olla samaan aikaan yhteydessä samaan resurssilohkoon. Tästä voidaan käyttää myös nimitystä Spatial Domain Multiple Access (SDMA). Tekniikka vaatii vain yhden antennin päätelaitteelta [5].

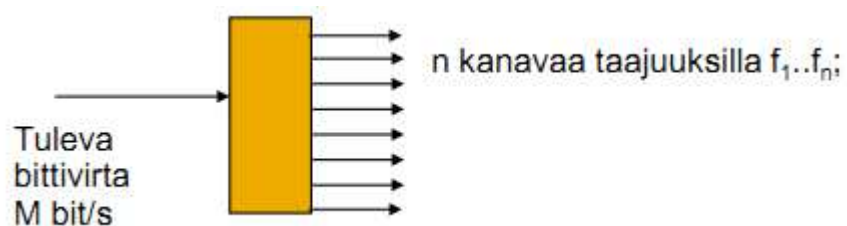


Kuva 4. MIMO tukiasemassa [6].

Kuvassa 4 on havainnollistettu MU-MIMO:n toiminta. Useat päätelaitteet ovat yhteydessä samaan aikaan saman tukiaseman eri antenneihin.

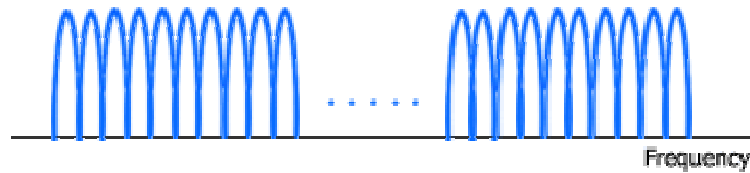
3.2 OFDM

OFDM-modulointitekniikkaa on tutkittu 1960-luvulta lähtien, mutta vasta äskettäin on tunnistettu, kuinka erinomainen menetelmä se on nopeissa kaksisuuntaisissa langattomissa järjestelmissä [7, s. 31]. OFDM:n periaate on jakaa bittivirta usealle rinnakkaiselle apukantoaallolle (kuva 5) [25, s. 24].



Kuva 5. Bittivirran jako [25, s. 24].

Jakamalla taajuusalue lukuisiin kapeakaistaisiin apukantoaaltoihin langattoman kanavan häiriöitä saadaan huomattavasti vähennettyä, sillä tällöin häipyminen vaikuttaa kerrallaan vain harvoihin apukantoaaltoihin. OFDM:lla voidaan siis toteuttaa laadukas ja nopea yhteys langattoman siirtotien kautta [7, s. 31].



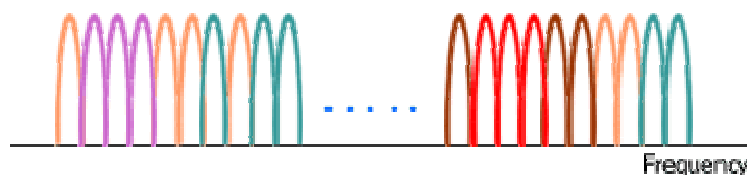
Kuva 6. OFDM-modulaatio [9].

Kuvassa 6 on esitetty, kuinka OFDM:n taajuusalue on jaettu useisiin viereisiin ja kapeakaistaisiin apukantoaaltoihin. Apukantoaaltojen välissä ei tarvita suojataajuuskais-
taa, koska apukantoaaltojen matemaattiset ominaisuudet takaavat, että ne voidaan erot-
taa vastaanottimessa toisistaan.

OFDM-tekniikkaa käytetään LTE-verkon lisäksi ADSL-yhteydessä, DVB-T-
digitelevisiossa, WLAN-lähiverkossa, WiMAX-verkossa ja DVB-H-
matkapuhelintelevisiossa.

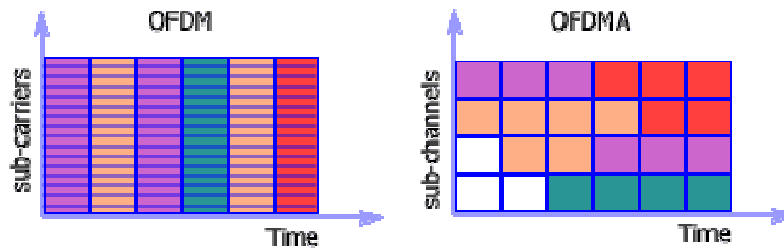
3.2.1 OFDMA

OFDMA-modulointitekniikka on mukautettu versio OFDM-tekniikasta. Nimensä mu-
kaisesti Orthogonal Frequency-Division Multiple Access mahdollistaa tiedonsiirron
useille käyttäjille samanaikaisesti. LTE:ssä OFDMA-tekniikkaa käytetään tiedonsiir-
toon tukiasemalta päätelaitteeseen.



Kuva 7. OFDMA-modulaatio [10].

OFDMA:ssa taajuusalue on jaettu lukuisiin läheisiin apukantoaaltoihin samalla tavalla kuin OFDM:ssa, mutta OFDMA:ssa apukantoaallot on jaettu ryhmiin (käyttäjiin). Apukantoaalloista muodostettua ryhmää kutsutaan alikanavaksi [14]. Ryhmän apukantoaaltojen ei täydy olla viereisiä, kuten kuvasta 7 selviää.



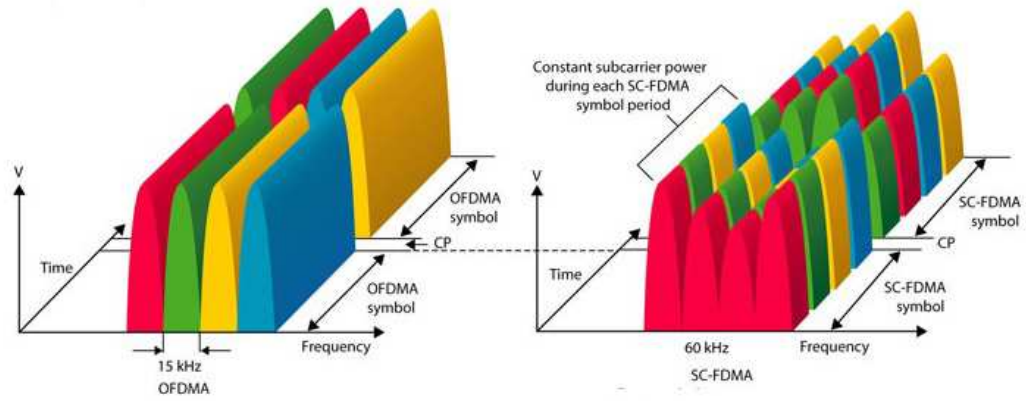
Kuva 8. OFDM- ja OFDMA-modulaatio [11].

Kuvassa 8 on esitetty OFDM- ja OFDMA-modulaatioiden eroja. OFDM jakaa käyttäjät ajan perusteella, kun OFDMA jakaa käyttäjät taajuuden perusteella. OFDMA-tekniikalla voidaan olla yhteydessä useaan käyttäjään samanaikaisesti.

3.2.2 SC-FDMA

Lähetteen tehovaihteluista aiheutuvien ongelmien takia LTE-järjestelmässä käytetään OFDMA-tekniikan sijaan SC-FDMA-tekniikkaa tiedonsiirrossa päätelaitteesta tukiasemaan. SC-FDMA-tekniikan lähetysketjussa käytetään DFT-koodausta PAPR-ongelman vähentämiseksi.

OFDM-lähetteen tehokäyttäytymistä kuvataan suurella Peak to Average Power Ratio (PAPR), joka kertoo tehuippujen suhteen keskimääräiseen signaalitehoon. OFDM-lähetteen PAPR-arvoa voidaan pienentää koodaamalla moduloidut symbolivirrat ennen kuin ne sijoitetaan eri kantaalloille. Koodaaminen levittää yksittäisen symbolin energian usealle apukantoaallolle ja sekoittaa symbolit keskenään. Tämä luo alikantoaaltojen generoinnin jälkeen summasignaalin, jossa tehovaihtelu on maltillisempaa kuin puhtaassa OFDM-lähetyksessä.



Kuva 9. OFDMA- ja SC-FDMA-modulaatio [15].

Kuvassa 9 on esitetty OFDMA- ja SC-FDMA-tekniikan erot. Eri värit edustavat eri käyttäjiä, täsä tapauksessa on neljä eri käyttäjiä. OFDMA:ssa käyttäjiät jaetaan taajuudeen perusteella. SC-FDMA:ssa käyttäjiät käyttävät samaa taajuutta, ja käyttäjiät jaetaan ajan perusteella.

4 SAE

Kun LTE:n radorajapinnan kehitys alkoi, kehittäjät huomasivat pian että myös järjestelmäarkkitehtuurin kehitys on tarpeen. Pelkästään siirtyminen täysin pakettikytkentäisiin palveluihin oli riittävä syy kehittää arkkitehtuuria, mutta myös radorajapinnan uudet ominaisuudet avasivat uusia mahdollisuuksia arkkitehtuurin kehittämässä. System Architecture Evolution (SAE) julkaistiin Release 8:ssa [12, s.22].

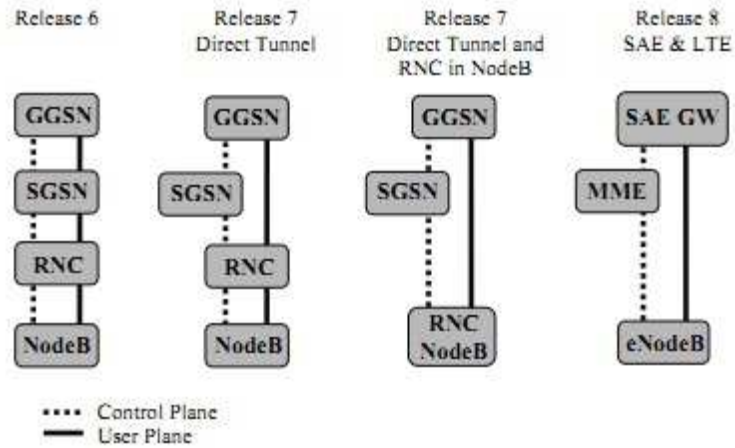
SAE suunniteltiin niin, että se on yhteensopiva LTE-A:n kanssa. Kun LTE-A otetaan käyttöön, LTE-verkko pystyy käsittelemään kasvaneen tiedonsiirtonopeuden verkkoon tehdyn päivitystyön jälkeen [16].

4.1 SAE:n tavoitteet

SAE:n kehittämiseen oli monia syitä ja myös monia tavoitteita. Seuraavassa on lueteltu tärkeimpiä tavoitteita:

- optimointi pakettikytkentäisille palveluille
- optimointi suurempaan tiedonsiirtonopeuteen
- pienempi viive
- yksinkertaisempi arkkitehtuuri
- optimoitu yhteensopivuus muiden 3GPP-verkkojen kanssa
- optimoitu yhteensopivuus muiden langattomien verkkojen kanssa (CDMA 2000, WiMAX)

Monet tavoitteista viittaavat siihen, että verkon arkkitehtuuria tulee kehittää litteämpään suuntaan. Litteä arkkitehtuuri vähentää verkon solmukohtia (node). Kun solmukohtia on vähemmän, viive pienenee ja suorituskyky paranee [12, s.23].



Kuva 10. Litteän arkkitehtuurin kehitys [12, s.24].

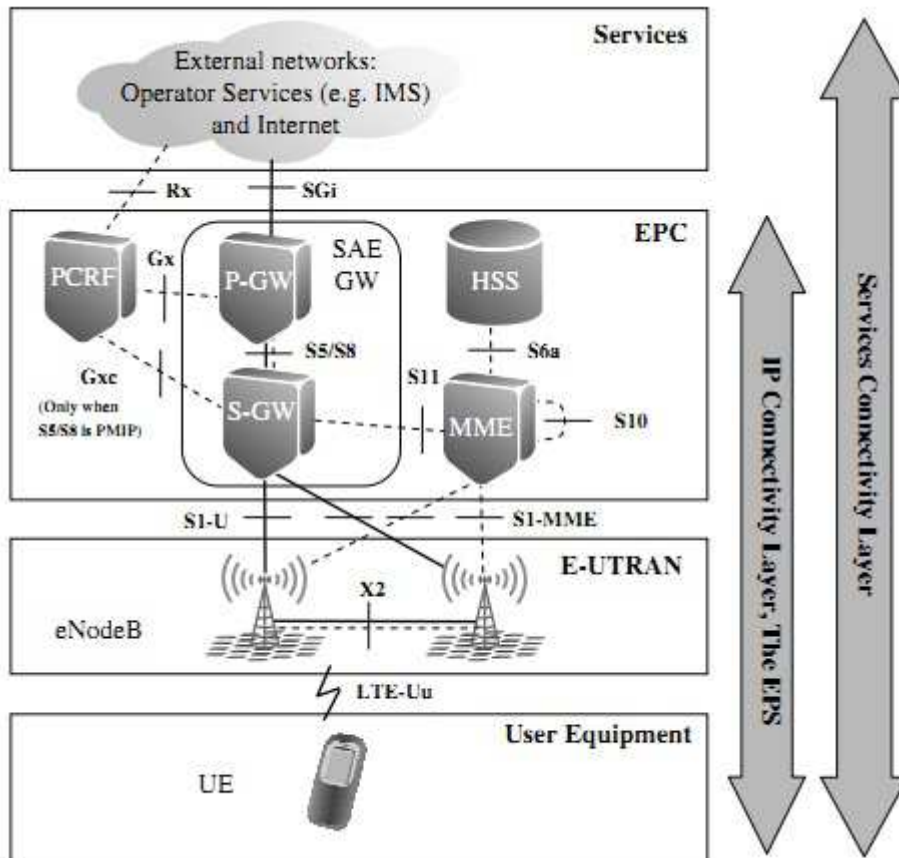
Kuvassa 10 on kuvattu litteän arkkitehtuurin kehitys. Litteän arkkitehtuurin kehitys alkoi jo Release 7:stä, jossa User Plane pystyi ohittamaan SGSN:n Direct Tunnelin avulla.

4.2 SAE rakenne ja toiminta

Kuvassa 11 on esitetty yksinkertaisen LTE-järjestelmän rakenne ja verkon elementit. Kuvassa arkkitehtuuri jaotellaan neljään luokkaan: User Equipment (UE), Evolved UTRAN (E-UTRAN), Evolved Packet Core Network (EPC) ja Services.

SAE:ssa muutokset kohdistuvat EPC- ja E-UTRAN-luokkiin. Service- ja UE-luokkien arkkitehtuuri on vastaava aikaisempien 3GPP-järjestelmien kanssa [12, s. 25].

UE-, E-UTRAN- ja EPC-luokat muodostavat yhdessä Evolved Packet System:n (EPS). EPS:n päätarkoituksena on siirtää datapaketteja radiorajapinnan ja operaattorin välillä [12, s.26].



Kuva 11. LTE-järjestelmän rakenne [12, s.25].

4.2.1 Päätelaitte

Päätelaitetta (User Equipment, UE) loppukäyttäjä käyttää kommunikointiin. Tyypillisesti päätelaite on älypuhelin tai modeemi, mutta se voi olla esimerkiksi sähkömittari tai valvontakamera.

Toiminnallisesti päätelaite on kommunikointisovelluksien alusta. Sovellukset viestivät verkolle uuden yhteyden muodostamisesta, nykyisen yhteyden ylläpidosta ja tarpeettoman yhteyden lopettamisesta ja ilmoittavat verkolle tietoja, kuten päätelaitteen sijainnin [12, s. 27].

Päätelaitteen tärkeä ominaisuus on, että sovelluksia voidaan konfiguroida, esimerkiksi VoIP-client voidaan konfiguroida niin, että sillä voidaan soittaa puheluita. [12, s.27]

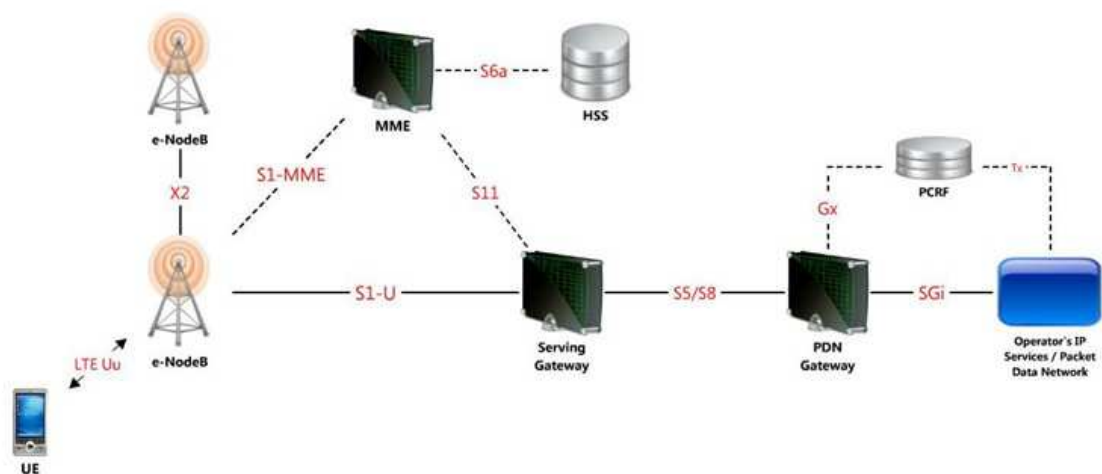
4.2.2 Tukiasema

LTE-järjestelmässä tukiasemasta käytetään nimitystä E-UTRAN Node B (eNodeB). Tukiaseman tehtävä on hallita ja ohjata verkon radioliikennettä. Tukiasemassa voi olla useita radiolähettämiä ja vastaanottimia, ohjauslohkoja ja virtalähteitä.

Tukiasema toimii siltana päätelaitteen ja EPC:n välillä välittäen dataa radioyhteyden välityksellä päätelaitteelle ja ollen päätepisteenä kaikille päätelaitteen käyttämille radio-protokollille ja vastaavasti välittäen IP-pohjaista dataa EPC:lle [12, s. 27].

Tukiasema vastaa radioresurssien hallinnasta (Radio Resource Management, RRM). RRM hallitsee esimerkiksi radion käyttöä, joka sisältää muun muassa resurssien säätelyn, liikenteen priorisoinnin ja ajastuksen palveluntason (Quality of Service, QoS) vaatimuksiin perustuen ja jatkuvan resurssien seurannan [12, s. 27].

Lisäksi tukiasemalla on tärkeä rooli liikkuvuuden hallinnassa (Mobility Management, MM). Tukiasema analysoi päätelaitteen luomia ja lähettämiä radiosignaalisotietoja, tekee itse samankaltaisia mittauksia ja näihin tietoihin perustustuen tekee päätöksen päätelaitteen solun vaihtoon. Kun uusi päätelaite aktivoidaan tukiaseman toiminta-alueella ja se pyytää yhteyttä verkkoon, tukiasema vastaa pyynnön välittämisestä samalle MME:lle, joka viimeksi palveli päätelaitetta. Mikäli viimeksi käytetty MME ei ole saatavilla, tukiasema valitsee sille uuden [12, s. 27].



Kuva 12. Tukiaseman yhteydet [17]

4.2.3 Liikkuvuudenhallintayksikkö

Liikkuvuudenhallintayksikkö (Mobile Management Entity, MME) on EPC:n hallinta-elementti. Liikkuvuudenhallintayksikkö on yleensä serveri operaattorin toimitiloissa. Liikkuvuudenhallintayksikön tärkeimmät toiminnot ovat käyttäjän todentaminen, käyttäjän turvallisesta yhteydestä huolehtiminen ja päätelaitteen sijainnin seuranta [12, s. 28].

Päätelaitteen rekisteröityessä verkkoon ensimmäistä kertaa liikkuvuudenhallintayksikkö aloittaa käyttäjän todentamisprosessin. Ensin liikkuvuudenhallintayksikkö selvittää päätelaitteen muuttumattoman identiteetin viimeksi vierailulta verkolta tai päätelaitteelta itseltään ja pyytää tilaajien tietokantapalvelimelta (Home Subscription Server, HSS) päätelaitteen todentamistietoja. MME lähettää päätelaitteelle kyselyn todentamistiedoista, päätelaite vastaa, ja MME vertaa HSS:ltä ja päätelaitteelta saamia tietoja toisiinsa, näin todennetaan että päätelaite on varmasti oikea [12, s. 28].

Päätelaitteen turvallisen yhteyden varmistamiseksi ja luvattoman seurannan estämiseksi MME luo jokaiselle päätelaitteelle myös väliaikaisen identiteetin (Global Unique Temporary Identity, GUTI), jotta päätelaitteen muuttumattoman identiteetin (International Mobile Subscriber Identity, IMSI) siirtäminen radorajapinnassa minimoitaisiin. GUTI uudistetaan tietyin väliajoin luvattoman seurannan estämiseksi [12, s. 28].

MME vastaa myös siitä, että päätelaitteen rekisteröityessä verkkoon, päätelaitteelle noudetaan sen oman operaattorin tilattu profiili kotiverkosta [12, s. 28].

4.2.4 Palveleva yhdyskäytävä

Palveleva yhdyskäytävä (Serving Gateway, S-GW) on reunareititin radorajapinnan ja EPC:n välissä. Palvelevan yhdyskäytävän tehtävä on hallita päätelaitteen liikkuvuutta, ylläpitää datayhteyksiä tukiasemiin ja pakettidataverkon yhdyskäytävään (Packet Data Network Gateway, P-GW) ja reitittää paketteja muille verkon elementeille [12, s. 29].

Päätelaitteen siirtyessä tukiasemasta toiseen, MME ilmoittaa S-GW:lle tiedon seuraavasta tukiasemasta, ja S-GW takaa datayhteyden ylläpidon ja datayhteyden siirron seuraavalle tukiasemalle [12, s. 30].

4.2.5 Pakettidataverkon yhdyskäytävä

Pakettidataverkon yhdyskäytävä on reunareititin EPS:n ja ulkoisten verkkojen välissä. Pakettidataverkon yhdyskäytävä on päätelaitteen oletusreititin ulkoiseen verkkoon, kuten Internetiin. Pakettidataverkon yhdyskäytävän tehtävä on muun muassa IP-osoitteen antaminen päätelaitteelle. IP-osoitteen avulla päätelaite voi kommunikoida Internetissä [12, s. 32].

Päätelaitteen vaihtaessa palvelevasta yhdyskäytävästä toiseen, pakettidataverkon yhdyskäytävän tehtävä on määrittää päätelaitteelle uusi palveleva-yhdyskäytävä [12, s. 32].

4.2.6 Käytäntö- ja laskutusyksikkö

Käytäntö- ja laskutusyksikön (Policy and Charging Resource Function, PCRF) tehtävä on määrittää päätelaitteen oikeudet (Policy and Charging Control, PCC) palveluihin ja välittää ne eteenpäin pakettidataverkon yhdyskäytävälle ja palvelevalle yhdyskäytävälle. PCC-säännöissä määritetään palveluntason-säädökset [18].

PCRF valvoo päätelaitteen liikennettä ja veloittaa liikenteen liikennetyypin perusteella [16].

4.2.7 Tilaajien tietokantapalvelin

Tilaajien tietokantapalvelin voidaan jakaa toiminnoiltaan kahteen osaan, kotirekisteriin (Home Location Register, HLR) ja todennuskeskukseen (Authentication Center, AuC).

Tilaajien tietokannassa on tallennettuna kaikki matkapuhelinliittymän tiedot, kuten kansainvälinen matkaviestintilaajan tunnus (International Mobile Subscriber Identity, IM-

SI), liittymän puhelinnumero (Mobile Subscriber ISDN Number, MSISDN) ja liittymän palvelutasotiedot, esimerkiksi maksimitiedonsiirtonopeus [19].

Todennuskeskuksen tehtävä on luoda ja säilyttää salausavaimen tiedot. Salausavain välitetään kotirekisteriin ja sitä käytetään päätelaitteen tunnistamisessa [19].

4.2.8 Palvelut

Palvelut-luokka sisältää monia alijärjestelmiä. Alijärjestelmät voidaan luokitella kolmeen ryhmään: IP-multimedia-alijärjestelmään (IP Multimedia Sub-system, IMS) perustuviin operaattorin palveluihin, muihin operaattorin palveluihin ja muiden kuin operaattorin tarjoamiin palveluihin [12, s. 34].

IMS on SIP-protokollaan (Session Initiation Protocol) pohjautuva palvelu, joka sisältää laskutuksen, veloituksen ja kaistankäytön hallinnan. IMS:n päälle rakentuu muun muassa LTE:n puhepalvelu [12, s. 34].

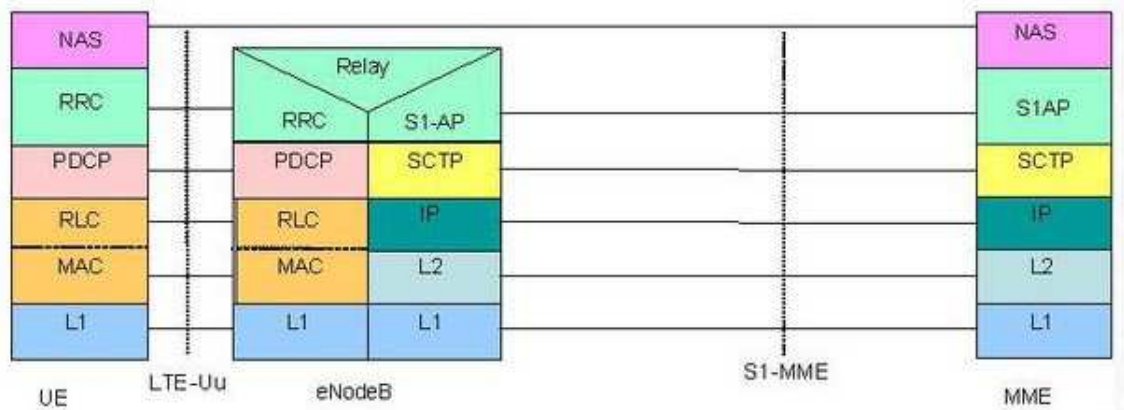
Muita operaattorin palveluita ei ole määritetty standardeissa. Operaattori voi esimerkiksi pystyttää tiloihinsa serverin ja päätelaite yhdistää serveriin jonkin sovitun protokollan kautta, jota päätelaitteen sovellus tukee [12, s. 34].

Muihin kuin operaattorin palveluihin kuuluvat esimerkiksi palvelut Internetissä [12, s. 34]. Tyypillinen esimerkki Internet-palveluiden käytöstä on, kun päätelaitteella yhdistetään WWW-palvelimeen Web-selausta varten.

5 PROTOKOLLAT

5.1 Hallintatason protokollat

Hallintatason protokollilla tarkoitetaan päätelaitteen ja MME:n välisessä tiedonsiirrossa käytettäviä protokollia.



Kuva 13. Hallintatason protokollarakenne [20].

Kuvassa 13 on esitetty hallintatason protokollarakenne. Tukiaseman ja MME:n välisessä tiedonsiirrossa käytetään S1-rajapintaa. S1-rajapinnassa käytetään seuraavia protokollia ja määritteitä:

- Non-Access-Stratum (NAS) - 3GPP TS 24.301
- S1 Application Protocol (S1-AP) - 3GPP TS 36.413
- IP, SCTP ja L2 - 3GPP TS 36.410, 3GPP TS 36.411, 3GPP TS 36.412, IETF RFC 2460 (IPv6), IETF RFC 791 (Internet Protocol), IETF RFC 2474
- L1 - 3GPP TS 36.201, 3GPP TS 36.211, 3GPP TS 36.212, 3GPP TS 36.213, 3GPP TS 36.214 [20]

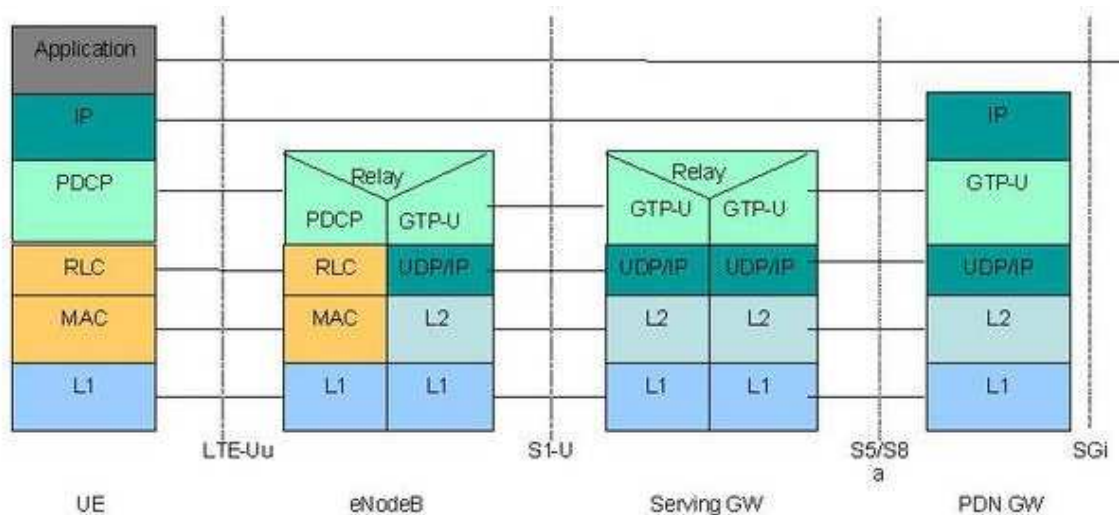
RRC:n tehtävä on ohjata MAC-, RLC- ja PDCP-kerroksia tukiaseman ja päätelaitteen välisessä tiedonsiirrossa [23]. Tukiaseman ja päätelaitteen välisessä tiedonsiirrossa käytetään seuraavia protokollia ja määritteitä:

- Radio Resource Control (RRC) - 3GPP TS 36.331

- Packet Data Converge Protocol (PDCP) - 3GPP TS 36.323
- Radio Link Control (RLC) - 3GPP TS 36.322
- Medium Access Control (MAC) - 3GPP TS 36.321
- L1 - 3GPP TS 36.201, 3GPP TS 36.211, 3GPP TS 36.212, 3GPP TS 36.213, 3GPP TS 36.214 [20]

5.2 Käyttäjätason protokollat

Käyttäjätason protokollilla tarkoitetaan päätelaitteen ja P-GW:n välisessä tiedonsiirrossa käytettäviä protokollia.



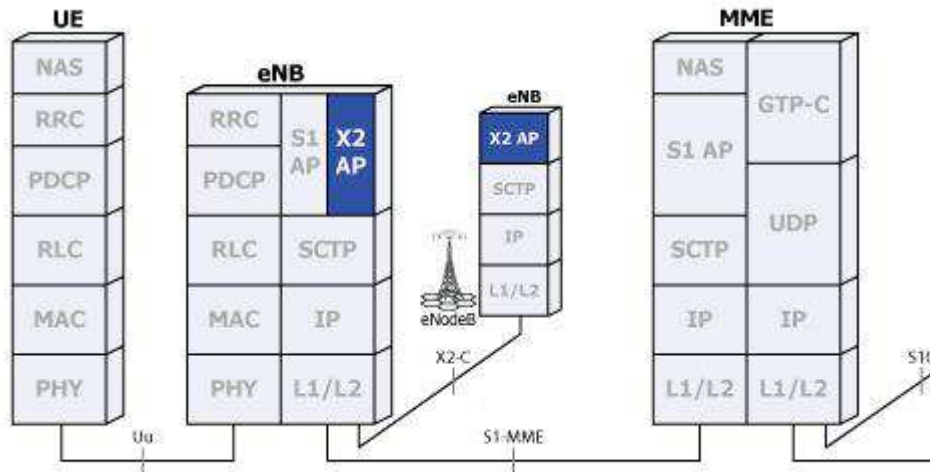
Kuva 14. Käyttäjätason protokollat [20].

Kuvassa 14 on esitetty käyttäjätason protokollarakenne. Käyttäjätasolla käytetään osittain samoja protokollia kuin hallintatasolla, ja niiden lisäksi käytetään seuraavia protokollia:

- General Packet Radio System (GRPS) Tunneling Protocol User Plane (GTP-U) - 3GPP TS 29.281
- UDP/IP - 3GPP TS 36.410, 3GPP TS 36.411, 3GPP TS 36.414, 3GPP TS 36.420, 3GPP TS 36.421, 3GPP TS 36.424, IETF RFC 2460, IETF RFC 791, IETF RFC 2474 [23].

5.3 Tukiasemien väliset protokollat

Tukiasemien välisessä tiedonsiirrossa käytetään X2-rajapintaa.



Kuva 15. X2-rajapinnan rakenne [21]

Kuvassa 15 on esitetty X2-rajapinnan protokollarakenne. X2-rajapinnassa käytetään samankaltaista protokollarakennetta kuin S1-rajapinnassa käytetään. Samanlaisen protokollarakenteen käyttö kummassakin rajapinnassa yksinkertaistaa tiedonsiirtooperaatiota [24].

6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin LTE-teknologiaan. LTE perustuu 3GPP:n aikaisemmin kehittämään GSM- ja 3G-teknologiaan ja on niiden seuraaja.

Työssä tutustuttiin OFDMA-, SC-FDMA- ja MIMO-tekniikoihin. OFDM-pohjaisten modulaatiotekniikoiden avulla saavutetaan nopea ja häiriönsietokykyinen langaton tiedonsiirtoyhteys. Langattomassa tiedonsiirrossa signaalit etenevät vastaanottimeen monia eri reittejä pitkin. Monitie-etenemisen signaalit voidaan hyödyntää MIMO-tekniikan avulla.

Työssä tutustuttiin myös LTE-teknologian täysin IP-pohjaiseen järjestelmänarkkitehtuuriin. Suurimmat uudistukset järjestelmäarkkitehtuurissa kohdistuivat EPC-runkoverkkoon ja E-UTRAN-radorajapintaan.

LTE otettiin Suomessa käyttöön 2.6.2010 ja verkon peittoalue kasvaa jatkuvasti. LTE:n yleistymisen aikana tulee olemaan mielenkiintoista seurata kuinka IP-järjestelmän päälle rakennetut puhe- ja tekstiviestipalvelut toimivat käytännössä, ja miten LTE:n käyttö vaikuttaa päätelaitteen akun kestoon.

LÄHTEET

1. Cisco, 2012. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011–2016*. [online] [viitattu 7.2.2012]
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html
2. *3G LTE Tutorial - 3GPP Long Term Evolution*. [online] [viitattu 26.2.2012]
<http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>
3. *About 3GPP - The Partners*. [online] [viitattu 26.2.2012]
<http://www.3gpp.org/Partners>
4. *About 3GPP - Observers*. [online] [viitattu 26.2.2012]
<http://www.3gpp.org/Observers>
5. Patel, Jaimin, 2006. *LTE MIMO Concepts*. [online] [viitattu 19.2.2012]
<http://4gwirelessjobs.com/articles/article-detail.php?LTE-MIMO-Concepts&Arid=MTQz&Auid=OTY=>
6. [online] [viitattu 10.2.2012] <http://www.mpirical.com/uploads/MIMO1.png>
7. Haohong Wang, Lisimachos Kondi, Ajay Luthra, Song Ci, 2009. *4G Wireless Video Communications*.
8. Rohde & Schwarz. *UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction*. [E-kirja] http://www2.rohde-schwarz.com/file/1MA111_2E.pdf
9. [online] [viitattu 27.3.2012]
http://2.bp.blogspot.com/_mAJDMuyu_WI/RoQOB4nwofI/AAAAAAAAAC8/BDxmstSIruU/s1600-h/OFDM.gif
10. [online] [viitattu 27.3.2012]
http://2.bp.blogspot.com/_mAJDMuyu_WI/RoQP94nwoeI/AAAAAAAAAC0/iGCWp1JeDU/s1600-h/OFDMA.gif
11. [online] [viitattu 27.2.2012]
http://4.bp.blogspot.com/_mAJDMuyu_WI/RoQP6YnwodI/AAAAAAAAACs/_jUetgFtqtM/s1600-h/OFDM_A_Comparison.gif
12. Harri Holma, Antti Toskala, 2009. *LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*.
13. [online] [viitattu 28.3.2012]
<http://www.nil.si/ipcorner/VoiceoverLTE/%24FILE/Figure1.jpg>
14. Gadialy, Zahid, 2007. *OFDM and OFDMA: The Difference*. [online] [viitattu 27.3.2012]
<http://3g4g.blogspot.com/2007/06/ofdm-and-ofdma-difference.html>

15. [online] [viitattu 3.4.2012]
<http://mobiledevdesign.com/tutorials/0918DSsigesemi-Figure01.jpg>
16. LTE SAE System Architecture Evolution. [online] [viitattu 10.4.2012]
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/sae-system-architecture-evolution-network.php>
17. [online] [viitattu 11.4.2012]
http://www.3glteinfo.com/wpcontent/uploads/2009/11/LTESystem_thumb.jpg
18. Cobler, Keith, 2010. Part 2: Mobile Network Evolution and the LTE Architecture. [online] [viitattu 11.4.2012]
<http://www.wirelessweek.com/Articles/2010/10/Technology-Part2-Mobile-Network-Evolution-Architecture-LTE/>
19. LTE Network Infrastructure and Elements. [online] [viitattu 16.4.2012]
<http://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-network-infrastructure-and-elements>
20. LTE Protocols & Specifications. [online] [viitattu 17.4.2012]
<http://lteworld.org/lte-protocols-specifications>
21. [online] [viitattu 18.4.2012]
<http://tutorials.telecomseva.com/wp-content/uploads/2012/02/X2-layer-1.jpg?iact=hc&vpx=316&vpy=317&dur=4358&hovh=164&hovw=308&tx=141&ty=97&sig=100440358977538203438&ei=n6iOT7zdPMfe4QSJIYTiDw&page=2&tbnh=90&tbnw=169&start=9&ndsp=16&ved=1t:429,r:15,s:9,i:123>
22. Mathieson, Martin, 2011. LTE RRC. [online] [viitattu 18.4.2012]
<http://wiki.wireshark.org/LTE%20RRC>
23. Alcatel-Lucent. The LTE Network Architecture. [E-kirja]
http://www.alcatellucent.com/wps/DocumentStreamerServlet?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=White_Papers/CPG0599090904_LTE_Network_taiArchitecture_EN_StraWhitePaper.pdf
24. Kurki, Jouko. Tiedonsiirron perusteet. [E-kirja]
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/t-110.2100/luennot/T-110_2100_luento_09.pdf