



TEKNIikka JA LIKENNE

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

LTE-, 3G- ja GSM-tekniikan vertailu

**Työn tekijä: Timo Eloranta
Työn ohjaaja: Seppo Lehtimäki**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2009

**Seppo Lehtimäki
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulu Metropolialle. Kiittän kaikkia tukea antaneita.

Helsingissä 02.12.2009

Timo Eloranta

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Timo Eloranta	
Työn nimi: LTE-, 3G- ja GSM-tekniikan vertailu	
Päivämäärä: 02.12.2009	Sivumäärä: 43 s
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn ohjaaja: lehtori Seppo Lehtimäki	
Työn ohjaaja:	
<p>Työssä tarkastellaan puhelun välitystä eri tekniikoilla toteutetuissa mobiiliverkoissa. Suurin käytössä olevista verkosta on GSM-verkko. Tätä verkkoa verrataan muihin verkkoihin, kuten UMTS- ja LTE-verkkoihin. GSM-verkon pääkomponentit ovat MSC/VLR, HLR ja BSC. UMTS-verkon pääkomponentit ovat MSC/VLR, HSS, RNC, SGSN ja GGSN. LTE-verkolla pääkomponentit ovat MME, SGW, PGW, HSS ja eNodeB.</p> <p>Työssä verrataan näiden verkkojen ja komponenttien eroja. Vertailtavia ominaisuuksia ovat mm. radiotie, turvallisuus, tehon säästö ja yhteyden laatu kaupunkiolosuhteissa.</p> <p>Johtopäätöksenä työstä voidaan todeta, että GSM on ja tulee olemaan luotettavin puheluita välittävä verkko. Verkot todennäköisesti tulevat jakautumaan kahteen osaan käyttötarkoituksen mukaisesti. GSM-puheluita välittävä verkko ja dataa välittävät verkot. Näistä dataa välittävistä verkoista oletettavasti vanhemmat verkot, kuten GPRS pudotetaan pois.</p>	
Avainsanat: GSM, UMTS, LTE, Tekniikka	

ABSTRACT

Name: Timo Eloranta	
Title: LTE, 3G and GSM technology comparison	
Date: 02.12.2009	Number of pages: 43
Department: Computer Science	Study Programme: Telecommunication
Instructor: Seppo Lehtimäki	
Supervisor: Seppo Lehtimäki	
<p>In this Thesis we look at call routing in different mobile networks. The greatest network in use is the GSM-network. We compare ties to other networks like UMTS and LTE networks. GSM-network main components are MSC/VLR, HLR and BSC. UMTS-network main components are MSC/VLR, HSS, RNC, SGSN and GGSN. LTE-network main components are MME, SGW, PGW, HSS and eNodeB.</p> <p>In this Thesis we compare these network and there components. Differences are compared of radio channels, security, and Power control and connection quality in city conditions.</p> <p>As a conclusion, GSM network is and will be the most reliable medium for phone calls. The networks will be divided in two groups according to function. The network routing calls and data networks. From these data networks it is likely the older networks like GPRS network will be dropper or discontinued.</p>	
Keywords: GSM, UMTS, LTE, Technology	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TEORIA	1
2.1	Antenniteoriaa	1
2.1.1	<i>Dipoli-antenni</i>	1
2.1.2	<i>Tukiasemanantenni</i>	3
2.1.3	<i>Matkapuhelinantenni</i>	4
2.1.4	<i>MIMO</i>	5
2.2	Tietoliikenneteoriaa	6
2.2.1	<i>Koodaus</i>	6
2.2.2	<i>Virheenkorjaus</i>	7
2.2.3	<i>OFDM</i>	8
3	JÄRJESTELMÄT	10
3.1	GSM	10
3.2	3G	12
3.2.1	<i>UMTS</i>	12
3.2.2	<i>WCDMA</i>	15
3.3	LTE	16
4	VERTAILU	19
4.1	Käyttäjälaitte	19
4.1.1	<i>GSM</i>	19
4.1.2	<i>3G</i>	22
4.1.3	<i>LTE</i>	24
4.2	Tukiasemataso	30
4.2.1	<i>Kontrollitaso</i>	30
4.2.2	<i>Turvallisuuden hallinta</i>	31
4.2.3	<i>Tehonsäätö</i>	34
4.2.4	<i>Katukanjoni</i>	35
4.3	Kytkenäverkko	38
4.3.1	<i>Verkon arkkitehtuuri</i>	38
4.3.2	<i>Yhdyskäytävät</i>	40
4.3.3	<i>Multimedia</i>	40
	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
	VIITELUETTELO	42

1 JOHDANTO

Tämän tutkintotyön aiheena on tarkastella eri matkapuhelinverkkojen teknistä toteutusta. Pääkohteena ovat GSM-, 3G- ja LTE-verkot.

Työn ensimmäisenä tavoitteena on saada jokainen lukija ajan tasalle asiaa koskevasta perusteoriasta, jotta myöhempi teoreettisempi teksti olisi helpommin ymmärrettävissä. Teoriassa käsitellään antennin toimintaa, eri antennityyppejä ja sitä, miten bitti saadaan ilmaan eli koodausta.

Toinen tavoite on esitellä yksinkertaisesti eri järjestelmät ja niiden toiminta. Järjestelmä-esittelyssä annetaan lyhyt katsaus niiden syntyyn ja arkkitehtuuriin.

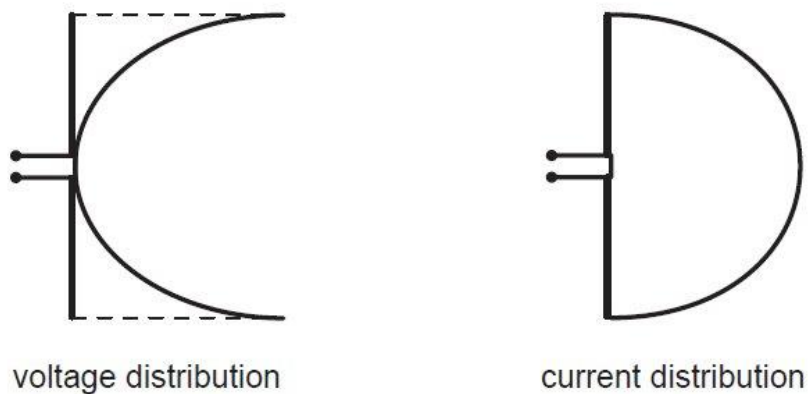
Kolmas tavoite on selvittää eri järjestelmien eroja puhelua muodostettaessa. Tässä pääpaino on LTE:ssä, koska kyseinen järjestelmä on uusin ja tuntemattomin. Vertailussa keskitytään radiotien eroihin, turvallisuuteen, tehonsäätöä ja järjestelmän joustavuutta kaupunkiympäristöissä.

2 TEORIA

2.1 Antenniteoriaa

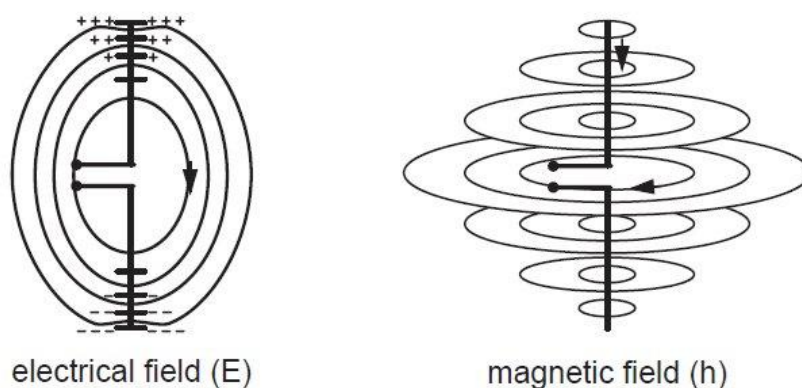
2.1.1 Dipoli-antenni

Signaalin syntymiseen käytetään esimerkkinä $\lambda/2$ -Dipoli-antennia. Antennissa potentiaali eli jännite jakautuu eksponentiaalisesti verrattuna etäisyyteen maadoitus kohdasta (keskeltä). Virta käyttäytyy päinvastoin, sillä virralla huippukohta on maadoituspäässä. Tämä on nähtävissä seuraavasta kaavakuvasta.



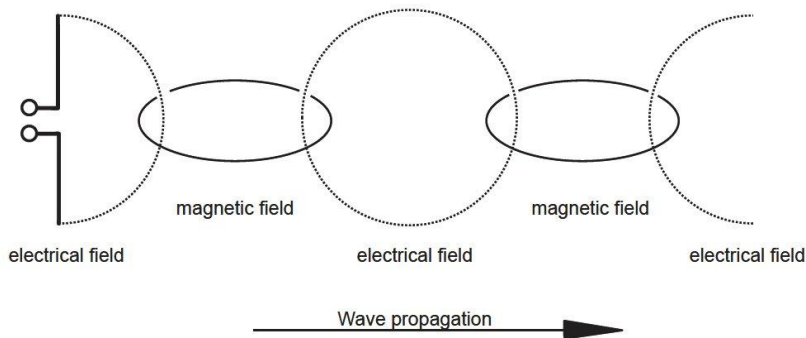
Kuva 1: Jännitteen ja virran jakautuminen [1.]

Jännitteen ollessa päällä synnyttää jännite sähkökentän ja sähkökenttä magneettikentän. Nämä kaksi eri kenttää voidaan laskea sähkömagneettisen kenttäteorian sääntöjen perusteella.



Kuva 2: Sähkö- sekä magneettikentän käyttäytyminen [1.]

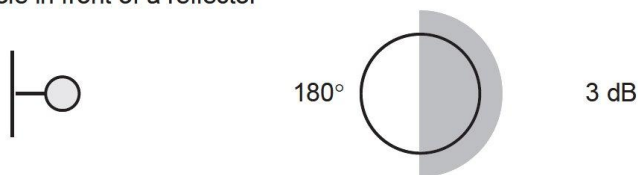
Kun antennin potentiaalilin polarisaatio vaihdetaan niin vaihdetaan sähköiset navat. Siksi antennin kaksi eri puolta eivät ole yhteydessä eikä kenttäpolarisaation vaihtuessa häviä. Polarisaation vaihtuessa kenttä syntyy uudestaan, mutta kääntyneen polarisaation suuntaan. Uusi syntynyt kenttä estää vanhaa kenttää kiinnittymästä takaisin antenniin, joten se lähtee etenemään. Sähkökenttä, joka lähtee etenemään, muodostaa magneettikentän uuden kentän ja vanhan kentän välille. Tätä vuoroittaista säteilyä kutsutaan sähkömagneettiseksi säteilyksi.



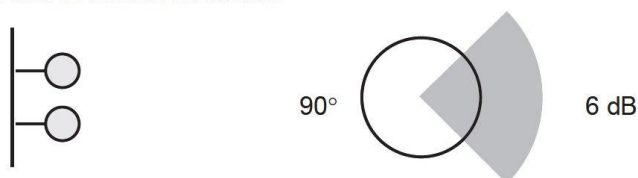
Kuva 3: Kenttien eteneminen [1.]

Yksittäinen dipoli-antenni on ympyräsuunnattu säteilijä, mikä tarkoittaa että se säteilee kaikkialle yhtä voimakkaasti. Isotrooppisuus on kuitenkin tehotonta ja antennin tehokkuutta voi huomattavasti parantaa suuntaamalla antennin säteilykeilaa. Jos leikkaamalla säteilykeilaa puoleen saavutetaan huomattavia etuja.

$\lambda/2$ dipole in front of a reflector



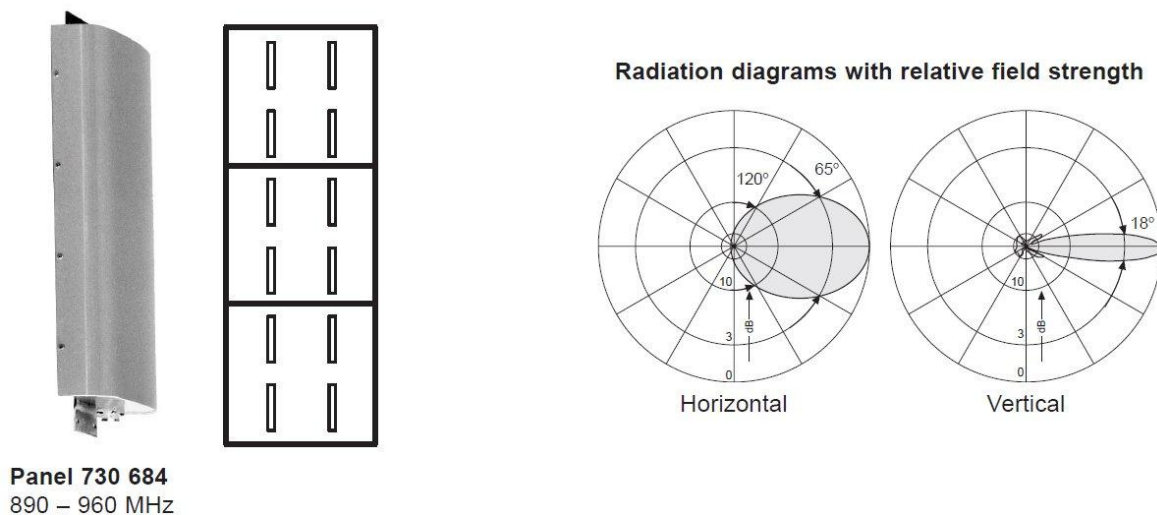
2 $\lambda/2$ dipoles in front of a reflector



Kuva 4: Dipolin suuntakuviot [2.]

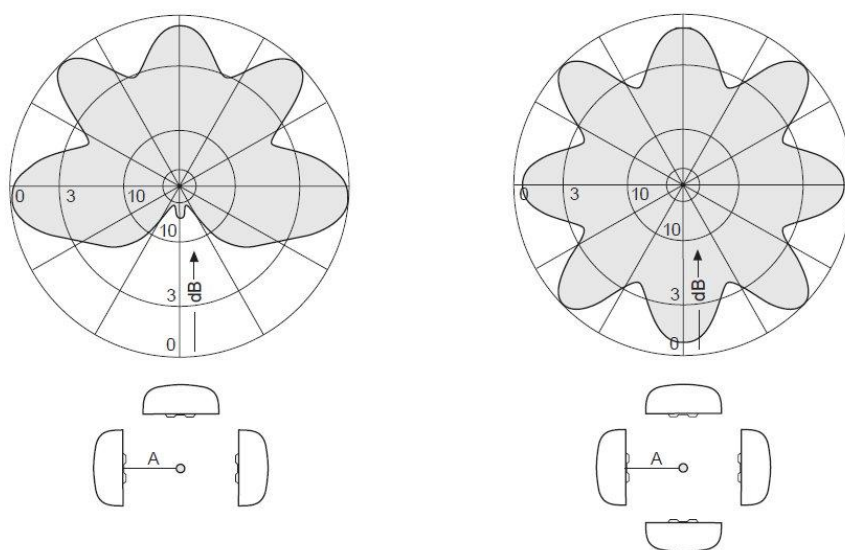
2.1.2 Tukiasemanantenni

3G- ja UMTS-antennit on rakennettu mahdollisimman tehokkaiksi, joten niiden rakenne ja säteilykuviot ovat kapeat. Näissä antenneissa käytetään myös eri taajuuksia. Tämä saavutetaan rakentamalla antenni pienemmistä osista, jotka on skaalattu sopivaksi. Kaikkia signaaleja yhdellä antennilla ei voi käyttää, mutta GSM-verkossa käytetään 900 MHz:iä ja 3G-verkossa puolestaan 1800 MHz:iä. Tämä tarkoittaa sitä että $\lambda/2$ -sääntö kenttäteoriasta pätee. Toisin sanoen aallonpituuden puolittuessa signaalia käytetään ottamaan vastaan samalla antennilla. [1.]



Kuva 5: Tyypillinen tukiasema-antenni [1.]

Distance A = 200 mm
947 MHz
Antenna 730 360



Kuva 6: Tukiasema-antenni ryhmän suuntaus [1.]

2.1.3 Matkapuhelinantenni

Matkapuhelinantennit ovat rakenteeltaan levyjä, jotka suunnitellaan toimimaan isolla taajuusalueella. Koska nykyaikaiset matkapuhelimet käyttävät useita eri taajuuksia, antennin suunnittelu on hankalaa. Koko alueen kattaminen olisi lähes mahdotonta. Antenni suunnitellaan tietyille taajuuksille, jotta taajuussuunnittelusta ei tulisi mahdottoman vaikeaa.

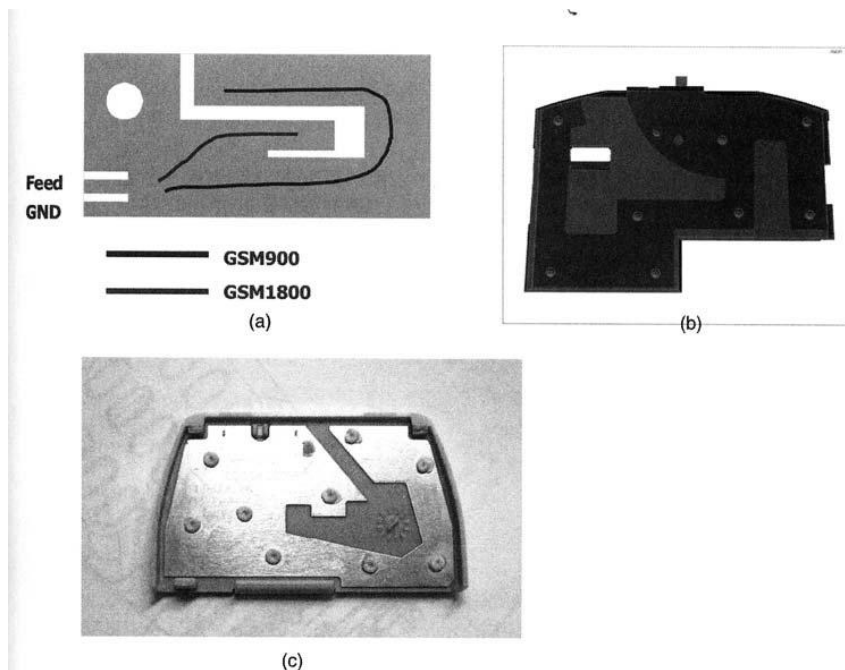


Figure 5.13 (a) A typical branch PIFA which has the long arm for the 900-MHz band and the short arm for the 1,800-MHz band—the left extra small part can improve bandwidth at high band; (b) the long arm in the branch PIFA was shaped to optimize the radiation pattern with more directivity at high band to have lower head loss [45]; and (c) the very popular center-fed C design, which allows the low band branch to resonate at high band frequencies [46].

Kuva 7: Eri levyantenneja [2.]

Matkapuhelinantennia kutsutaan usein myös levyantenniksi, koska antennit ovat rakenteeltaan levyn kappaleita. Erilaisia levyantenneja on useita ja niitä on myös patentoitu.



Kuva 8: Matkapuhelinantenni [2.]

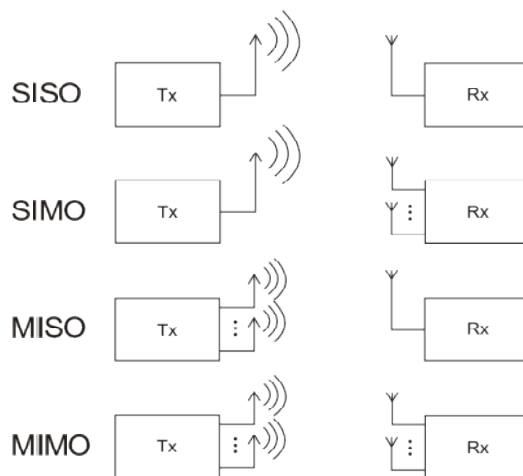
2.1.4 MIMO

MIMO-tekniikalla (Multiple-Input and Multiple-Output) tarkoitetaan tietoliikennetekniikkaa, jossa sekä lähetykseen että vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia.

MIMO-tekniikkaa voidaan hyödyntää pääasiassa kahdella eri tavalla: maksimoidaan tiedonsiirtonopeus tai parannetaan tiedonsiirron luotettavuus.

Tiedonsiirtonopeuden maksimointiin käytetään tilallista lomitusta (engl. *spatial multiplexing*, joskus myös MIMO-SM). Kun vastaanottajalla on käytettävissään vähintään yhtä monta antennia kuin lähettäjällä, voidaan kutakin lähettäjä-vastajanottaja-antenniparia käyttää yksilöllisesti. Tällöin lähettäjä pilkkoo sarjamuotoisen sähkeen useammalle antennille, jotka lähettävät yksilöllisen osan signaalista rinnan samanaikaisesti samalla lähetyskanavalla. Vastaanottopäässä eri aikoihin saapuvat signaalit kootaan jälleen yhdeksi tietovirraksi. Usean lähetys- ja vastaanottoantennin käytöllä voidaan saavuttaa huomattavasti suurempi tiedonsiirtokapasiteetti kuin yhdellä antennilla. Teoriassa lähetettävän datan määrä voidaan kertoa antenniparien määrällä, mutta käytännössä toteutus aiheuttaa myös häviöitä esimerkiksi signaalien häiritessä toisiaan. Etu on verrattavissa kaistanleveyden tai lähetystehon kasvattamisesta saatavaan hyötyyn.

Tiedonsiirron luotettavuuteen pyritään käyttämällä aika-tila-koodausta (engl. *space time coding, diversity coding*), jolla minimoidaan häipymisestä aiheutuvia haittoja kuten viivettä. Siinä sama signaali lähetetään useammasta antennista samanaikaisesti. Näin saavutetaan parempi virheensieto, eli pystytään luomaan yksiantennijärjestelmää luotettavampi verkko. Usein samalla paranee myös kantama. [3.]



Kuva 9: Useamman antennin konfiguraatiot [3.]

2.2 Tietoliikenneteoriaa

2.2.1 Koodaus

Vanhoissa langapuhelimita käytettiin linjakoodausta, mikä on k antataajuista tiedonsiirtoa. Linjakoodi on tapa koodata tieto siirtotietä varten.

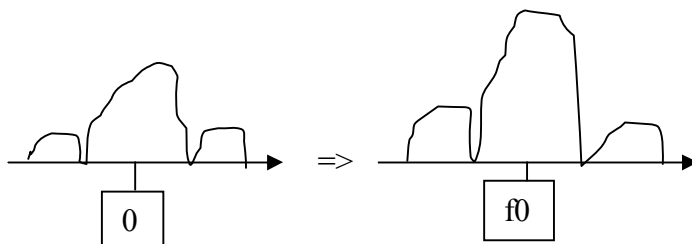
Hyvälle linjakoodille on asetettu seuraavia vaatimuksia:

- 1) Hyvä linjakoodi sisältää riittävästi vaihtelua
- 2) Hyvä linjakoodi ei hukkaa siirtokaistaa

- 3) Hyvä linjakoodi ei sisällä tasavirta komponenttia
- 4) Hyvä linjakoodi ei vaadi polariteetin tuntemista.

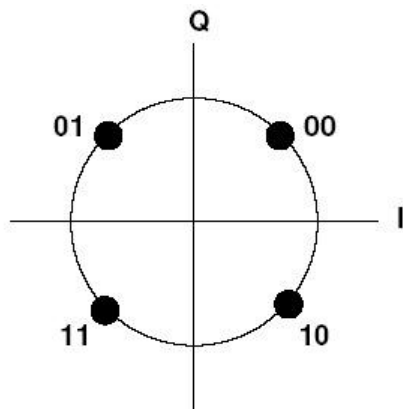
Eri linjakoodeja on monia esim. NRZ, RZ, Manchester, 2B1Q, AMI, HDB3. Riippuen koodaustavasta saadaan lisättyä mm. bittinopeutta, vähennettyä viherdennäköisyyttä tai estettyä energian vaimenemista linjalla.

Kantaaaltoisessa tiedonsiirrossa tiedon siirto välitetään korkeataajuisessa signaalissa. Tällöin alkuperäinen signaali yhdistetään kantaaaltoon.



Kuva 10: Kantaaajainen tiedonsiirto

Yhdistäminen eli modulaatiomenetelmiä on myös useita esim. ASK, PSK, FSK, BPSK, DPSK, QPSK ja QAM. Lähettäkseen dataa lähettin vaihtelee signaalin amplitudia sekä vaihetta. Eri modulaatiomenetelmissä on eri määrä vaihtoehtoja, joita voidaan yhdistää.

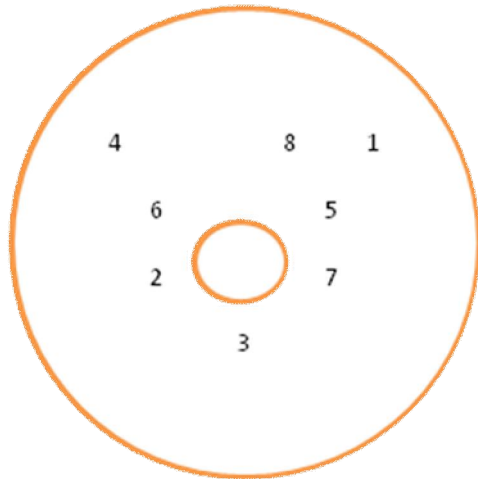


Kuva 11: QPSK-konstelaatiokuva

2.2.2 Virheenkorjaus

Tietoa siirrettäessä etenkin radioteillä syntyy virheitä. Virheet saattavat olla yksittäisiä bittivirheitä tai siirtolohkoissa (pakettien, kehyksien) ilmeneviä virheitä. Siirtolohkoissa virheet ovat useimmiten toistumista, tuplaantumista, katoamista tai muuttunut järjestys. Virheiden syntyessä niitä pitää kyetä ilmaisemaan. Ilmaisua voidaan tehdä mm. pariteettitarkistuksella, CRC-tarkistuksella tai numeroimalla.

Lomitusta käytetään viivästämisen pienentämiseen. Lomituksessa peräkkäiset bitit eivät ole siirrossa peräkkäin vaan lomitettuna ajallisesti. Haittapuolena on viiveen lisääntyminen.



Kuva 12: Lomitus – interleaving

Yksinkertaisimpia ratkaisuja virheenkorjaukseen on FEC (Forward Error Correction), jossa käytetään virheenkorjaavaa koodia. Samankaltaisesti toimii ARQ (Automatic Repeat Request), joka suorittaa virheen sattuessa uudelleenlähetyksen.

Konvoluutiokoodauksen perustoimiyksikkö on siirtorekisteri. Konvoluutiokooderi tuottaa yhtä tulevaa bittiä kohti useamman bitin lähtöä, ja lisäbitit toimivat virheenhavainnointi/virheenkorjausinformaationa.

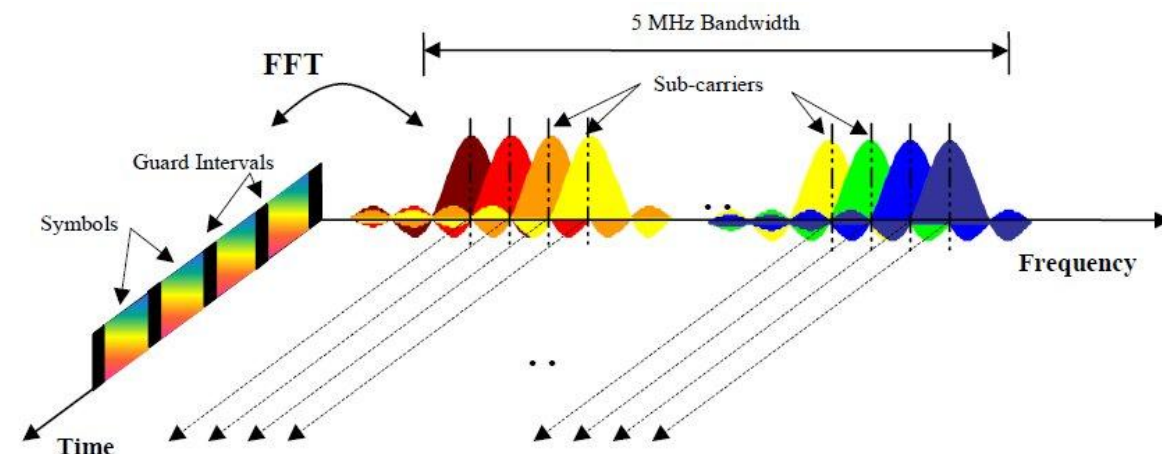
Virheenkorjausmetodeja on useita erilaisia. Suosituin ja eniten käytetty on RS (Reed-Solomon)-virheenkorjaus. RS-koodit ovat lohkokodeja, jossa jokaisessa lohkoissa on tarkiste. Tarkisteella voidaan laskea lohkoista algoritmilla datan oikeellisuus. Sitä käytetään mm. CD-, DVD-, Blu-ray-, DSL- ja DVB-tekniologioissa. [4.]

2.2.3 OFDM

OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) on taajuuskaistalomitukseen perustuva tekniikka, jolla kyetään samaan aikaan lähettämään tietoa usealla taajuuskanavalla. OFDM on laajakaistainen signaalintekniikka, ja se on ihanteellinen käytettäväksi esim. MIMO:n yhteydessä.

Nykyisin käytössä olevat OFDM-menetelmät perustuvat diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen (IDFT, *Inverse Discrete Fourier Transform*).

Kerralla moduloitava symboli vastaa kompleksilukuina esitettyjä taajuuksien voimakkuuksia ja vaihekulmia, jotka sitten muunnetaan diskreetillä Fourier-käänneismuunnoksella digitaalisen signaalin vaihteluiksi. Digitaalinen signaali muunnetaan D/A-muuntimella analogiseksi kantataajuiseksi OFDM-signaaliksi. Kantataajuisista signaalia voidaan käyttää sellaisenaan tai sillä voidaan moduloida radiotaajuisia kantaaltoa.



Kuva 13: OFDM:n toimintaperiaate [6.]

Taajuuskanavien määrä ja kussakin kanavassa kerralla siirrettävien bittien määrä vaihtelee. Kanavia on yleensä useita kymmeniä, joskus useita tuhansia. Esimerkiksi 16-QAM-modulaatiota käytettäessä erilaisia vaiheen ja voimakkuuden arvoja on 4×4 , jolloin yhden taajuuskanavan sisällä voidaan siirtää $\log_2(4 * 4) = 4$ bittiä. Eri kanavilla voi käyttää erilaisia modulaatiotapoja.

Perättäisten symbolien keskinäinen vaihtelu esitetään jättämällä niiden väliin *suojavaäli*. Suojavaäliin kopioidaan pätkä signaalia sitä seuraavan IDFT-muunnoksen tuloksen lopusta (*cyclic prefix*). Tällä pystytään myös vähentämään symbolin sisällä eri taajuuksien keskinäistä vaikutusta.

Demoduloinnissa käytetään diskreettiä Fourier-muunnosta: yhtiä symbolia vastaavaan lohkon kuuluvat A/D-muuntimelta saatavat näytteet muunnetaan kerralla taajuuskanavien voimakkuutta ja vaihetta kuvaaviksi kompleksiluvuiksi. Kanavan kompleksilukua lähinnä vastaava bittikuvio valitaan demodulointitulokseen. [5.]

3 JÄRJESTELMÄT

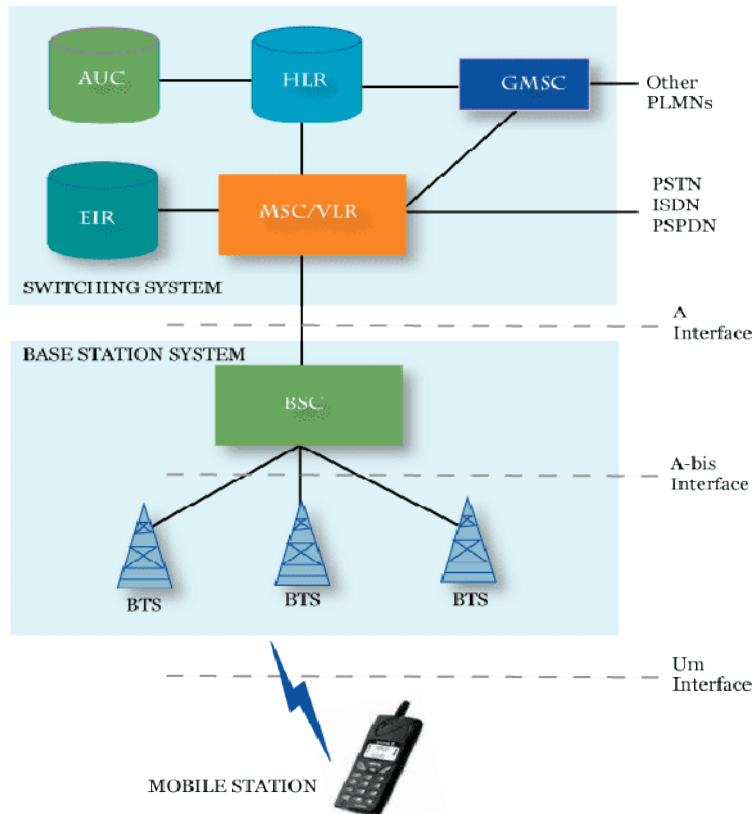
3.1 GSM

GSM (lyhenne sanoista *alun perin* Groupe Spécial Mobile, *nyttemmin* Global System for Mobile Communications) on matkapuhelinjärjestelmä jota käytetään maailmanlaajuisesti.

Euroopan posti- ja telehallintojen yhteistyöelin CEPT oli perustanut Alankomaiden ja Pohjoismaiden aloitteesta Groupe Special Mobile (GSM) -työryhmän 1982, jonka tehtäväksi annettiin kehittää yleiseurooppalainen matkapuhelinjärjestelmä. Hanke oli ollut esillä epävirallisessa kokouksessa Pariisissa jo 8.–9. lokakuuta 1980, jolloin oli kartoitettu eri maiden radiopuhelinverkkojen silloista tilannetta ja kehitystarpeita. Yhteistyön tuloksena ensimmäiselle eurooppalaiselle matkapuhelinverkolle varattiin taajuusalueet 900 MHz:n alueelta. Myöhemmin ranskalainen nimitys Groupe Special Mobile käännettiin englanniksi Global System for Mobile Communications.

7. syyskuuta 1987 kolmesta maasta allekirjoittivat yhteisymmärryspöytäkirjan, "Memorandum of Understanding on the Implementation of a Pan-European 900MHz Digital Cellular Mobile Telecommunications Service by 1991", jonka ensimmäisessä artiklassa jokainen järjestelmään liittynyt operaattori veloitettiin tekemään sopimus verkkoierailusta jokaisen muun järjestelmään liittyneen operaattorin kanssa. [7.]

1989 järjestelmän standardointi siirrettiin European Telecommunication Standards Institute, ETSI:lle. GSM-järjestelmän arkkitehtuuri on laajalta kannalta katsottuna kolmetasoinen. Siihen kuuluu käyttäjälaite (kännykkä), tukiasema- ja kytkentä-tasot.



Kuva 14: GSM-arkkitehtuuri [8.]

Kytöntason vastuulla on suorittaa puheluihin sekä tilaajatietojen hallintaan liittyvät toiminnot.

HLR (Home Location Register) eli kotirekisteri on tietokanta, jota käytetään tilaajatietojen tallentamiseen ja hallintaan. HLR on tärkeä tietokanta, sillä se tallentaa mm. profiilit, paikkatiedot ja toimintatilan. Henkilön hankkiessa liittymän operaattorilta se rekisteröidään kyseisen operaattorin HLR:ään.

MSC (Mobile Service Switching Center) eli mobiilikeskus on GSM-verkon yksi tärkeimmistä osista. MSC ohjaa puheluita muista puhelin-, sekä datajärjestelmistä. Se myös huolehtii laskutuksesta, verkkorajapinnoista, "yhteiskanavamerkinannosta jne.

VLR (Visitor Location Register) eli vierailijarekisteri on tietokanta, joka sisältää väliaikaista tietoa tilaajista. VLR sisältää kaikki tilaajat sekä tiedot niistä tilaajista, jotka ovat verkkovie-railulla ja kuuluvat toiselle operaattorille.

AUC (Authentication Center) eli autentikointikeskus suorittaa autentikointia sekä salausparametrien jakotoimintoja. Autentikointia ja salausparametreja tarvitaan jokaisen puhelun luotettavuuden tunnistamiseen. AUC myös suojelee operaattoria erilaisilta hyökkäyksiltä.

EIR (Equipment Identity Register) eli laiterekisteri on tietokanta, joka sisältää tiedot varastetuista, ei-sallituista ja viallisista laitteista. EIR on myös ns. musta lista. Jos mustalle listalle joutuu siitä ei voi soittaa tai päästä verkkoon.

Tukiasematason vastuulla on kaikki radioverkkoon liittyvät asiat.

BSC (Base Station Controller) eli tukiasemaohjain tarjoaa toimintoja fyysiselle linkille MSC:n ja BTS:n välille. Se on suuri kapasiteettinen kytkin, joka tarjoaa toimintoja kuten handoverin, solun konfigurointi tiedot ja kontrolloi tarvittavaa RF-(radio frequency) lähetystasoa BTS:ssä.

BTS (Base Transceiver Station) eli tukiasema vastaa radioliikenteestä tilaajalaitteelle. Tukiasema on radio laitte (lähetin/vastaanotin ja antenni), jolla kutakin solua palvellaan. [8.]

3.2 3G

3.2.1 UMTS

UMTS (lyhenne sanoista *Universal Mobile Telecommunications System*) on GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinteknologia. 1. sukupolven palveluita edustaa NMT, 2G:tä GSM, ja GPRS edustaa 2,5G:tä. UMTS:n verrattuna on 50 % nopeampi tiedonsiirto molempiin suuntiin, mikä sallii liikkuvan kuvan lähettämisen sekä paremman äänenlaadun puheluita varten. Lisäksi UMTSissa on edeltäjiään pienempi latenssi. WCDMA on UMTS:ssä käytettävä radiotekniikka. GPRS-teknikkaa käytetään pakettidatan siirtämiseen. IMS tarjoaa Internet-pohjaisia multimedialpalveluita, kuten pikapuhetta, IP-puhetta, saatavuuspalvelua ja pikaviestejä.

UMTS-verkon tavoitteina oli suunnitteluvaiheessa mm. saada äänen laatu ja palvelut samalle tasolle, kuin ne ovat kiinteässä verkossa. Lisäksi tuki sekä piiri- että pakettikytkentäiselle liikenteelle ja radiokaistan mahdollisimman tehokas käyttö olivat eräitä tavoitteita. Tiedonsiirtokapasiteetin suhteen tavoite oli, että paikallaan olevan laitteen siirtonopeus voisi olla jopa 2 Mbps.

GSM-verkosta eroten UMTS-verkko on ns. moniymäristöjärjestelmä. Solukoot ovat pienimmästä suurimpaan:

- koti solu
- pik osolu
- mikros olu
- m akrosolu
- globaali satelliittijärjestelmä.

UMTS-solun koko määräytyy aktiivisten käyttäjien lukumäärän mukaan. UMTS:n perusversion nopeus on signaalin laadusta, verkon ruuhkasta ja muista tekijöistä riippuen parhaimmillaan 384 kbps. Käytännössä nopeudet jäävät kuitenkin selvästi teoreettisen tiedonsiirtonopeuden alle eli noin 100-250 kilobittiin sekunnissa. UMTSissa vasteaika on noin 200 millisekuntia, kun taas sitä edeltäneissä GPRS:ssä ja EDGE:ssä viive vaihteli 500 millisekunnista kolmeen sekuntiin.

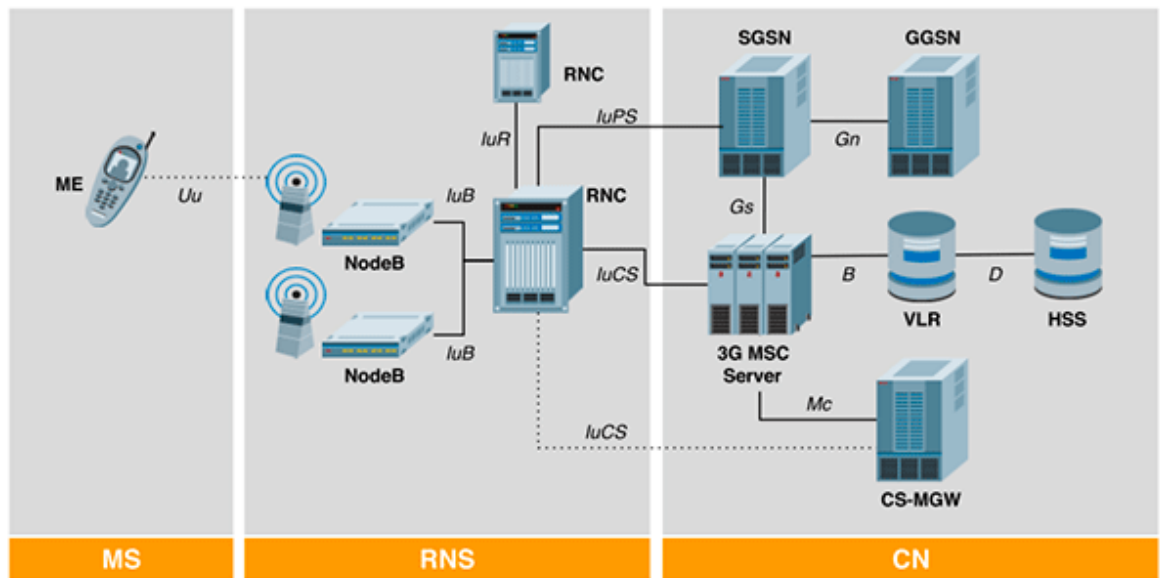
HSDPA-tekniikalla voidaan kuitenkin päivittää UMTS-verkko tukemaan moninkertaisesti nopeampaa tiedonsiirtoa. Tällä hetkellä HSDPA:n maksiminopeus on 1-2 megabittiä sekunnissa, lähitulevaisuudessa teoriassa jopa 7-27 Mbps. HSUPA taas moninkertaistaa nopeuden päätelaitteelta verkkoon päin. Sekä HSDPA että HSUPA myös pienentävät osaltaan vasteaikaa merkittävästi. Päätelaitteelta vaaditaan tuki tekniikalle. Monet uudet puhelimet tukevat HSDPA:ta ja PC-datakortit myös HSUPA:ta.

UMTS-verkon radio-osan nimi on UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Toisin kuin muissa järjestelmissä UMTS-verkon päätelaitteen lyhenne on UE (User Equipment) ja tukiasemasta käytetään termiä Node B. USIM-termiä (Universal Subscriber Identity Module) puolestaan käytetään UMTS-ympäristössä olevasta SIM-kortista.

UMTS-verkon tietoturvakenteet muistuttavat hyvin paljon GSM-verkossa käytettäviä ratkaisuja. Toisaalta GSM-verkosta poiketen UMTS-verkon päätelaite voi autentikoida myös verkon eikä ainoastaan toisin päin.

UMTS:ssa puhelinoperaattorin ja palvelun tarjoajan välillä on selkeä ero, sillä puhelinoperaattori keskittyy lähinnä tiedonsiirrosta huolehtimiseen. UMTS tarjoaa kunkin palvelun tai sovelluksen tarpeesta riippuen tiedonsiirtonopeutta. Palveluiden kattavuus vaihtelee kuitenkin esimerkiksi Suomessa suuresti, koska maa on harvaan asuttu, ja alun perin 2,1 GHz taajuudella toiminut radioliikenne on tarvinnut hyvin tiheän tukiasemaverkoston.

UMTS-taajuusalueista on Euroopassa ja Japanissa käytössä 2100 MHz:n taajuus, joka on tuetuin nykyisissä päätelaitteissa. Euroopassa on otettu käyttöön myös 900 MHz taajuus, mikä mahdollistaa verkon laajentamisen edullisemmin, koska maan kattava 900 MHz:n verkko on aikanaan rakennettu GSM-verkkoa varten. Lisäksi matalampi taajuus pidentää signaalin kantamaa, jolloin tukiasemia ei tarvitse rakentaa niin tiheään. Elisa avasi maailman ensimmäisen kaupallisen 900 MHz:n taajuudella toimivan UMTS900-verkon Suomessa marraskuussa 2007. Yhdysvalloissa UMTS-verkkoja on olemassa myös 1900 ja 850 MHz:n taajuuskaistoille. [9.]



Kuva 15: Yksinkertaistettu 3G-verkon arkkitehtuuri [10.]

3G-järjestelmän arkkitehtuurin kolme tasoa ovat samat kuin GSM:n tasot johtuen siitä, että 3G on rakennettu GSM:n päälle. Kuvassa käyttäjälaite (kännykkä) eli MS (Mobile Station), tukiasema RNS (Radio Network Service) ja kytkentätaso CN (Circuit Network).

Katsottaessa kytkentätasoa CN siihen kuuluu pääasiallisesti HSS, VLR, MSC, SGSN ja GGSN.

HSS (Home Subscriber Server) vastaa GSM-verkon HLR:ää, eli se on operaattorin tilaajien tietokanta. Sen tehtävänä on pitää yllä tietoa käyttäjän ominaisuuksista, palveluista, tilaajan paikasta ja keinoista, joilla tilaaja on ko. hetkellä tavoitettavissa.

VLR (Visitor Location Register) on täysin vastaava myös toimintoiltaan kuin GSM-verkon vastaava, kuten myös MSC (Mobile Service Switching Center).

Puhelun tilan hallinta CSCF (Call State Control Function) on suorassa yhteydessä HSS:n ja GGSN:n kanssa. CSCF jakautuu useampaan erilliseen toimintoon.

Tulevien puhelujen reititys tapahtuu yhdyskäytävän ICGW (*Incoming Call GateWay*) kautta.

Puhelun hallintatoiminto CCF (*Call Control Function*) hoitaa puhelun aloittamisen, puhelun tilan valvonnan ja puhelun lopettamiseen liittyvät toimenpiteet. CCF hoitaa myös kongressipuheluiden hallintaa sekä laskutustapahtumien generointia.

Käyttäjäprofiilitietokanta SPD (*Serving Profile Database*) kommunikoi HSS:n kanssa ja vastaanottaa käyttäjän profiilin All-IP-verkossa. Sekä Informoi kotiverkkoa, HSS:ää, käyttäjän toiminnoista.

Osoitteen käsittely, AH (*Address Handling*), analysoi, tulkitsee ja tarvittaessa muuttaa osoitetta ja osoitteen kartoitusta alias-osoitteiksi. Se voi myös tehdä väliaikaista osoitteenmuunnosta verkkojen välistä reititystä varten.

MGW (*Media Gateway Function*) ja MGCF (*Media Gateway Control Function*) muodostavat yhdistelmäyhdyskäytävän (*composite gateway*). Yhdessä ne määrittelevät yhdyskäytäväpalvelun toiminnallisuuden. MGW toimii PSTN/PLMN-verkkojen ja "All-IP"-verkon yhdyspisteenä, ja se voi liittyä myös UTRAN verkkoon "All-IP"-verkosta lu-rajapinnalla.

SGSN (*Serving GPRS Support Node*) välittää dataa kytkentäverkon CN:n ja radioverkon välillä.

GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) on toiminnaltaan reititin, joka välittää dataa mobiili verkon ja internetin tai yksityisen verkon välillä.

3G-verkon tukiasematasolle RNS (*Radio Network Subsystem*) kuuluu RNC (*Radio Network Controller*) eli radioverkko-ohjain, sekä Node B (*GSM BTS*) eli tukiasema. Radioverkko-ohjaimien sekä tukiasemien kokonaisuutta kutsutaan UTRAN:ksi (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). [10.]

3.2.2 WCDMA

WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) on UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta. Se määrittelee esimerkiksi, kuinka mobiililaitteet kommunikoivat tukiasemien kanssa ja miten signaalit moduloidaan.

WCDMA:n ominaisuuksia, joita ei ole 2G-järjestelmissä:

- teoreettisesti jopa 2 Mbps tiedonsiirtonopeus, mutta käytännössä päästäneen enintään 384 kbps nopeuksiin

- joustava tiedonsiirtokapasiteetti
- parempi taajuuksien uudelleenkäyttö, koska kaikki saman operaattorin solut käyttävät samoja taajuuksia

WCDMA tukee kahta perustekniikkaa: FDD:tä ja TDD:tä. FDD-tekniikka perustuu siihen, että myötäsuunnalle ja paluusuunnalle on annettu omat 5 MHz:n taajuuskanavat, joita päätelaitteet ja tukiasemat voivat käyttää. Taajuudet 1920-1980 MHz on varattu paluusuunnan käyttöön ja taajuudet 2110-2170 MHz myötäsuunnalle. Tämä mahdollistaa noin 250 samanaikaisen puhekanavan käyttämisen.

TDD-tekniikassa puolestaan samaa taajuusaluetta käytetään tiedonsiirrossa molempiin suuntiin. Siirrossa toimitaan vuorosuuntaisesti samalla taajuusalueella ja tätä tekniikkaa varten on varattu taajuusalueet 1900-1920 MHz sekä 2020-2025 MHz. Tämä sallii vain noin 120 yhteyttä, mutta se myös vaatii vain puolet kaistanleveydestä. [11.]

WCDMA (tai W-CDMA) toiminnot määrittelevät yhdeksän kanavaa, jotka on nähtävissä alla olevasta taulukosta.

- | | |
|------------|---------------------|
| • Kanava 1 | 2,100 MHz |
| • Kanava 2 | 1,900 MHz |
| • Kanava 3 | 1,800 MHz |
| • Kanava 4 | 2,100 / 1,700 MHz |
| • Kanava 5 | 850 MHz (U.S.A) |
| • Kanava 6 | 850 MHz (Japani) |
| • Kanava 7 | 2,500 MHz |
| • Kanava 8 | 900 MHz |
| • Kanava 9 | 1,700 MHz (Japani). |

3.3 LTE

LTE (Long Term Evolution) on 4G-tekniikka, jonka tarkoitus on kasvattaa datan siirtonopeuksia, parantaa palveluita ja vähentää kuluja.

Standardoinniltaan LTE on 3GPP-järjestön tuleviin Release 8 -määrittelyihin sisältyvä laajennus. Määrittelyt hyväksytään todennäköisesti vuoden 2009 aikana.

Data kulkee tukiasemasta päätelaitteeseen useita radioteitä pitkin eli niin sanotulla MIMO-tekniikalla.

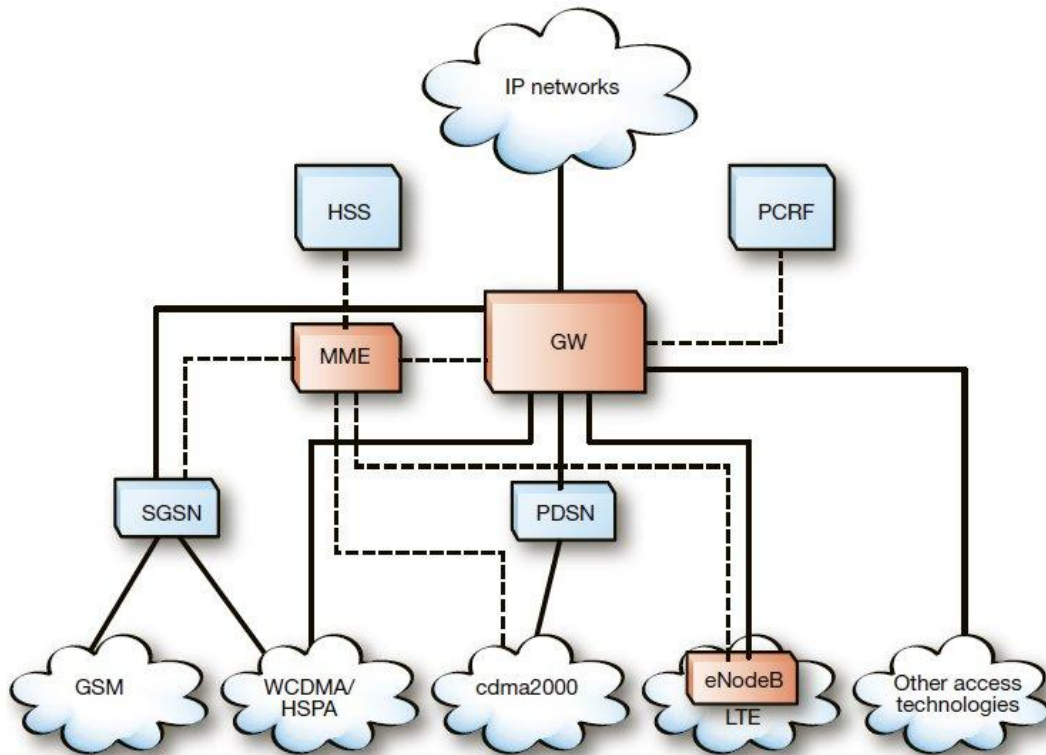
LTE on ensimmäinen 4G-tekniikka, jossa radioliikenne tukiasemasta päätelaitteeseen on toteutettu erilaisella radiotekniikalla kuin radioliikenne päätelaitteesta tukiasemaan. Datan siirto tukiasemasta päätelaitteeseen tapahtuu OFDM-tekniikalla ja päätelaitteesta tukiasemaan SC-FDMA-tekniikalla.

Luonnoksissa datansiirron tavoitteiksi on laitettu tukiasemasta päätelaitteeseen 100 Mb/s ja päätelaitteesta tukiasemaan 50 Mb/s. Käytännössä nopeudet eivät tule olemaan näin suuria varsinkaan tukiaseman ollessa kaukana.

Long Term Evolutionin tulevaisuuden menestys tukeutuu vahvasti tekniikan yhteensopivuuteen nykyisten 3G-verkkojen kanssa ja datansiirtonopeuksiin. Vaikka kaupalliseen käyttöön tulevien sovellusten datansiirtonopeudet eivät vielä pitkään aikaan yllä Nokian ja Ericssonin demoissa saavutettuihin nopeuksiin (n. 150 Mb/s), niin silti datansiirto tulee olemaan huomattavasti nykyisiä 3G-tekniikoita nopeampaa.

Käytännössä LTE on 3G:n päälle rakentuva tai kehitettävä nopeampi ja parempia palveluja tarjoava langaton verkko, joka tunnetaan kehitysversiona 3.9G. [12.]

LTE-SAE-arkkitehtuurissa on GSM- ja WCDMA/HSPA-järjestelmät integroituna standardoiduilla rajapinnoilla. LTE:llä tarkoitetaan 3GPP Release 8-julkaisun OFDM-pohjaista radiatorajapintaa ja radioverkkoa. SAE (System architecture evolution) on puolestaan 3GPP Release 8 mukainen kytkentä tai pakettiverkko, joka on LTE-verkossa kiinni. EPS (Evolved packet system) on uusi termi, jota käytetään kuvaamaan mobiiliverkon uutta kerrosta. Uuteen kerrokseen kuuluu käyttäjälaite, radioverkko ja core-verkko.



Kuva 16: Yksinkertaistettu LTE-arkkitehtuuri [13.]

EPC (Evolved Packet Core) eli kytkentäverkko tai ydinverkko on osa EPS:stä ns. core-verkko. Siihen kuuluu MME, SGW ja PGW.

GW (Gateway) eli yhdyskäytävä voidaan konfiguroida toimimaan, joko tarjoavana yhdyskäytävänä SGW-(Serving Gateway), PDN-(Paket Data Network) tilassa PGW (PDN Gateway) tai kumpanakin yhtä aikaa.

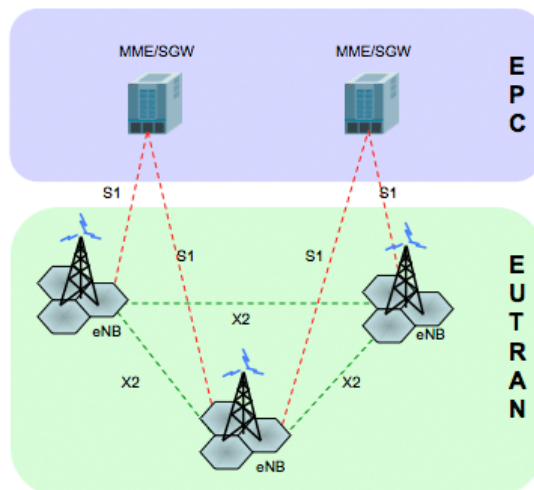
SGW (Serving Gateway) päättää kytkennän EUTRAN:i. Jokaisella käyttäjälaitteella, joka on yhteydessä EPS:iin on yksi Serving GW. SGW toimii paikallisena mobiliteetin ankkurina eNB(eNodeB) handoverissa, samoin kuin sisäisessä 3GPP-mobiliteetissa. SGW vastaa pakettien reitityksestä, välityksestä ja puskuroinnista. Koska eNB vastaa uplink-pakettien merkkauksesta, SGW vastaa downlink-pakettien merkkauksesta.

PGW (PDN Gateway) on kytkin, joka vastaa pakettiliikenteestä LTE-verkon ja eri pakettiverkkojen kanssa. PGW vastaa IP-pakettipohjaisista operaatioista, kuten pakettien syvä tarkistuksesta, käyttäjälaitteen IP-osoitteen sijoituksesta, siirtotason pakettien merkkauksesta, laskutuksesta jne. PGW ottaa yhteyttä PCEF:ään (Policy and Charging Enforcement Function) määrittääkseen QoS:n (Quality of Service).

HSS (Home Subscriber Server) vastaa GSM-verkon HSS:ää, eli se on operaattorin tilaajien tietokanta. LTE-verkkoarkkitehtuurissa kaikki liittynät ovat IP-pohjaisia.

MME (Mobility Management Entity) on hallintayksikkö. Se vastaa kaikesta kontrollitason operaatioista. Kaikki NAS-signaali päättyy MME:hen. NAS (Non-access stratum) käsittelee vapaatilan mobiliteettia ja tarjoajan asetus signaali (service setup). MME on ensimmäinen rajapinta 2G ja 3G verkkoihin, ja se vastaa SGSN:n valinnasta LTE 2G/3G handoverissa. MME myös autentikoi käyttäjälaitteet.

EUTRAN (Evolution UMTS Terrestrial Radio Access Network) koostuu eNB:stä (eNodeB) eli tukiasemista, jotka ovat kehittyneempiä 3G-verkon vastaaviin. EUTRAN vastaa radio-rajapinnan hallinnasta. Kun eNB:n alueelle saapuu käyttäjälaite, sen toimintoihin kuuluu radio-kanavien hallinta (radio bearer control), radioverkkoon pääsyn hallinta, uplink- ja downlink-sijoitus jne. Paketissa saapuessa eNB:lle se kompressoit IP-otsakkeen ja alaa datavirran. Pakettiin lisätään GTP-U otsake ja se lähetetään SGW:lle. ENB vastaa MME:n valinnasta, jolle paketti lähetetään. [13.]



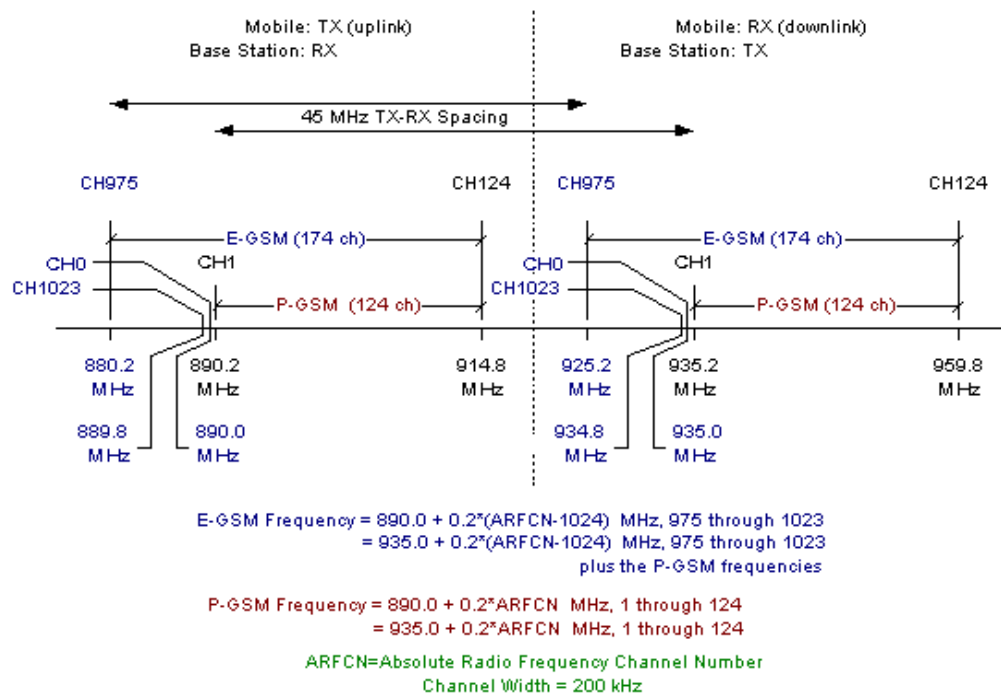
Kuva 17: EUTRAN kooste kuva [14.]

4 VERTAILU

4.1 Käyttäjälaite

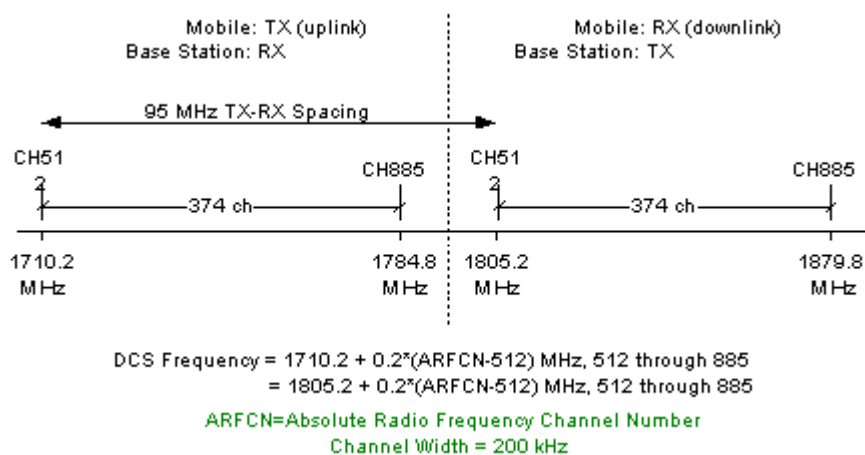
4.1.1 GSM

GSM taajuus alueita on Suomessa käytössä kaksi GSM-900- ja GSM-1800-taajuusalueet. Nämä taajuus alueet ovat 890-960 MHz GSM-900:lla ja 1710-1880 MHz GSM-1800:lla. GSM-900-taajuudet jakautuvat kolmeen luokkaan P-GSM:hin (perus/primary), E-GSM(extended) ja R-GSM(railways). P-GSM sisältää 124 taajuutta eli 25 MHz:in taajuuskaistan. GSM-1800 taajuuskaistaa on 75 MHz siirtosuuntaa kohti ja se sisältää 374 taajuutta. [16.]



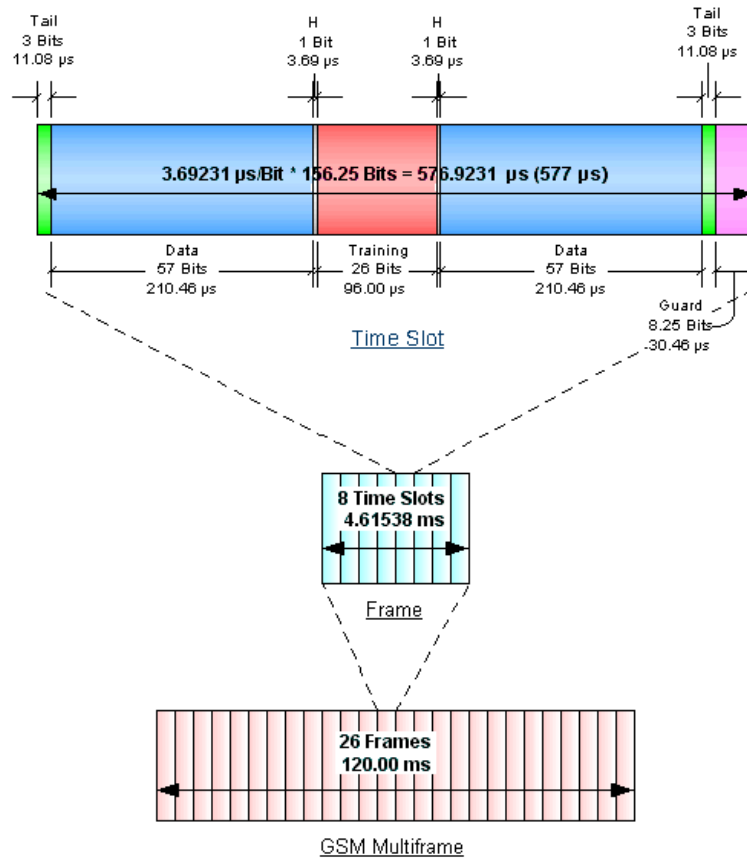
Kuva 18: GSM-900-taajuusspesifikaatiot [15.]

GSM-järjestelmien taajuus- eli kanavaväli on 200 kHz. Lähetys- ja vastaanottotaajuudet on jaettu kahdeksaan aikaväliin eli TDMA (Time Division Multiple Access)-kehysten jaksoihin. Koska GSM-järjestelmässä käytetään useita radiokanavia, on kyseessä TDMA:n ja FDMA:n (Frequency Division Multiple Access) yhdistelmä.



Kuva 19: GSM-1800-taajuudet [15.]

Kuvassa 18 ja 19 näytetään, kuinka aikaväli ja vastaavat taajuudet sijoittuvat GSM, DCS (Digital Communications System) ja PCS (Personal Communications Service) taajuuksilla. GSM ylikehys on perusyksikkö ja 120 ms pitkä. Ylikehys sisältää 26 kehystä, joista jokainen kehys kestää 4,61538 ms eli (120 ms/26). Jokainen kehys sisältää 8 aikaväliä, joka kestää 576,92 μ s per aikaväli (pyöreästi 577 μ s). Jokainen aikaväli sisältää 156,25 bittiä ja jokainen bitti kestää 3,69231 μ s.



Kuva 20: GSM-ylikehys ja aikavälikestot [15.]

Seraavassa taulukossa on määritetty tarkasti GSM-900 sekä GSM-1800 taajuudet.

Taulukko 1: GSM-taajuudet

Järjestelmä	Taajuus	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Kanava numero
P-GSM 900	900	890.0 - 915.0	935.0 - 960.0	1 - 124
E-GSM 900	900	880.0 - 915.0	925.0 - 960.0	975 - 1023, 0-124
R-GSM 900	900	876.0 - 915.0	921.0 - 960.0	955 - 1023, 0-124
T-GSM 900	900	870.4 - 876.0	915.4 - 921.0	Dynaaminen
DCS 1800	1800	1710.0 - 1785.0	1805.0 - 1880.0	512 - 885

GSM-ajoitukset eri osista, kuten bitti, pusrke, kehys, ylikehys jne. on taulukoitu seuraavassa.

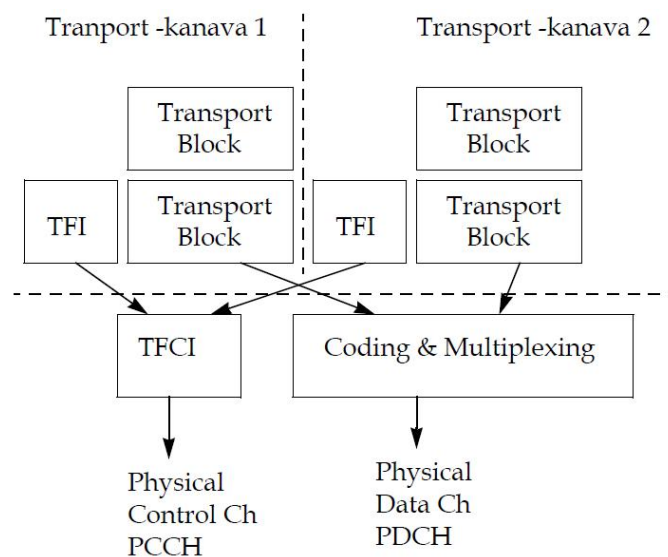
Taulukko 2: GSM-ajoitukset

	Symboli	Purske	Kehys Aika	Nopeus	
Symboli	1	1/8	1/1250	48/13 μ s (3.692 μ s)	270833/s
Purske	156.25	1	1/8	15/26 ms (576.9 μ s)	1733/s
Frame	1250	8	1	60/13 ms (4.615 ms)	216.6/s
26 Multiframe	32500	208	26	120 ms	8.333/s
51 Multiframe	63750	408	51	235.4 ms	4.248/s
52 Multiframe	65000	416	52	240 ms	4.167/s
Superframe	2071875000	84864	1326	6120 ms	9.803/min
Hyperframe	4.2432E+12	173801472	2715648	3h:28m:53.760s	6.893/da

On huomionarvoista myös huomata GSM-, sekä GPRS-rajapinnan erot. Esimerkiksi WAP-kotisivua ladattaessa viiveet ovat 7-15 sekuntia (GSM Circuit Switched Data) ja 5-10 sekuntia (GPRS päällä tarvittaessa) ja 3-5 sekuntia (GPRS aina päällä). Nämä arvot eivät kuitenkaan ole tarkkoja arvoja, sillä niihin liittyy monia eri tekijöitä. [15.]

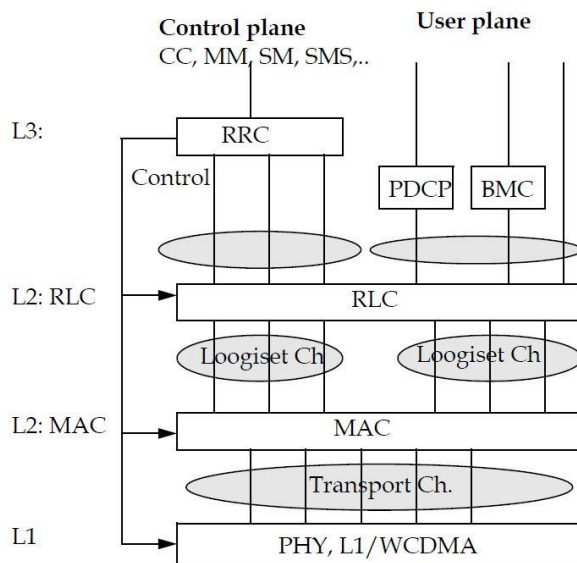
4.1.2 3G

Radiorajapinnan kanavat on organisoitu kolmeen kerrokseen, jotka ovat loogiset kanavat (Logical Channels), siirtokanavat (Transport Channels) ja fyysiset kanavat (Physical Channels). Loogisista kanavista muodostetaan ns. siirtokanavia, jotka sisältävät siirtolohkot tai lohkoja ja ns. TFI informaatio-osan (Transport Format Indicator ja Transport Format Combination Indicator). Siirtokanavista tehdään sitten fyysiset kanavat (Physical Channels), joista muodostetaan kanavointi- ja sekoituskoodeilla itse lähetesignaali.

**Kuva 21: Radiokanavat [17.]**

Radiolinkin ohjausprotokolla (Radio Link Control Protocol) eli RLC:n tehtäviä ovat datan segmentointi ja uudelleenlähetys, salaus ja L1:ltä saatavan CRC-tiedon käsittely, Transparent Mode (TM), esim. CS-puhe, UM (Unacknowledged Mode); esim. PS-puhe, AM (Acknowledged Mode); esim. data.

MAC:n eli Medium Access Control Protokollan tehtävänä on mm. loogisten kanavien kuvaus siirto- eli Transport-kanaviksi, TFCS:n valinta (Transport Format Combination Set), MAC-tason salaus ja UE:n tunnistus.



Kuva 22: Radiorajapinta, kuvassa PDCP = Packet Data Convergence Protocol, BMC = Broadcast/Multicast Control [17.]

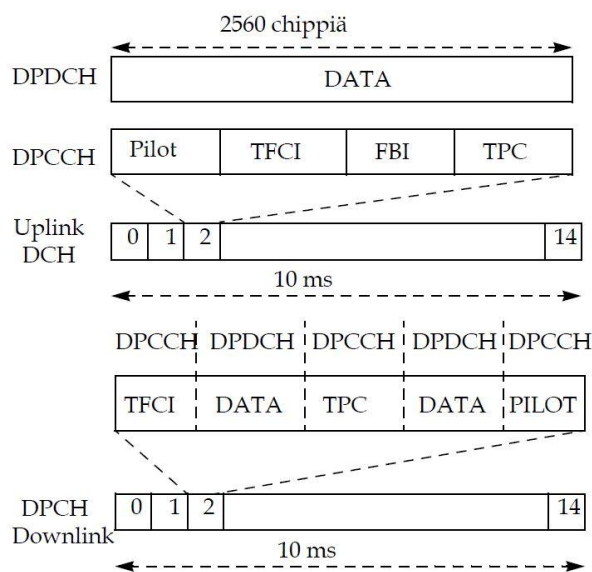
Ohjaustason loogisia kanavia ovat Broadcast Control Ch eli BCCH vain DL-suunnassa, Paging Control Ch eli PCCH vain DL-suunnassa, Common Control Ch eli CCCH ja Dedicated Control Ch eli DCCH.

Käyttäjätason loogiset kanavat ovat Dedicated Traffic Ch eli DTCH ja Common Traffic Ch eli CTCH.

Siirtokanaviin kuuluu yhteyskohtainen siirtokanava DCH (Dedicated Transport Channel), jolla kaikki informaatio kuljetetaan yhdelle käyttäjälle. Yhteisiä siirtokanavia on yhteensä 6 kpl: Broadcast Channel, BCH, jolla välitetään käytettävät koodit jne. Forward Access Channel, FACH, downlink: mm. RACH-sanoman vastaus, pakettidataa jne. Paging Channel, PCH, downlink: yhteydenotto, Random Access Channel, RACH, uplink: yhteydenotto. Common Packet Channel, CPCH, uplink, RACH:n laajennus, parina FACH. Downlink Shared Channel, DSCH: usealle käyttäjälle.

Vain fyysisellä tasolla olevat kanavat voidaan jakaa neljään osaan. Synkronointikanava (Synchronisation Channel), SCH, joka jakautuu kahteen osaan primary-SCH, 256 chippiä, sama jokaisessa solussa. Secondary-SCH, kertoo mm. BS:llä käytössä olevan koodiryhmän UE:lle. Acquisition Indicator Channel, AICH antaa vastauksen RACH:ssa. Common Pilot Channel, CPICH, downlink vastaa radiokanavan mallituksesta, handoverista ja solun valinnasta.

Tr-kanavien sijoitus fyysisiin kanaviin DCH: Dedicated Physical Data Ch, DPDCH ja Dedicated Physical Control Ch, DPCCH. Datanopeus on vakio, SF=256. [17.]



Kuva 23: Tr-kanavat, kuvassa FBI = FeedBack Information, TFCI = Transport Format Combination Indicator [17.]

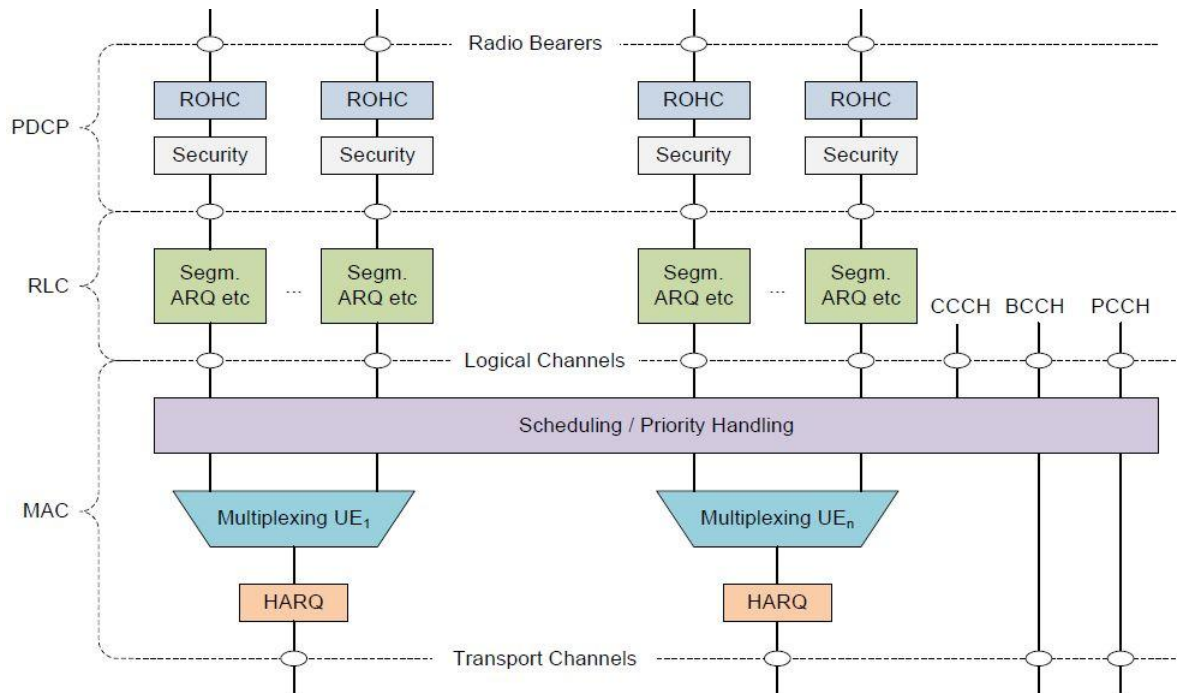
4.1.3 LTE

LTE-verkon suorituskyky ja kapasiteetti ovat erittäin tärkeitä vaatimuksia LTE-verkkoa standardoidessa. Vaatimuksena on tarjota downlink:n huippunopeus, joka on ainakin 100 Mbps, teknologiasalliset nopeudet aina 300 Mbps:iin. Ericsson on demonstroinut LTE-nopeudeksi jo nyt 160 Mbps. Radioverkon matkan kestoksi vaaditaan, että se on enintään 10 ms. Huomattavaa on myös, että datanopeuksien lisäksi LTE:n vaatimuksina on myös U-plane (User) eli käyttäjätason viive vaatimuksena enintään 5 ms ja mobiilitietoverkon vaatimuksena on 500 km/h katkeamaton käyttö. Toki optimointi on alemmille nopeuksille, kuten 10-15 km/h.

LTE tukee joustavaa kaistanleveyttä 1,4 MHz:stä aina 20 MHz:iin. Samoin LTE:ssä on myös tuki FDD:lle (frequency division duplexing) ja TDD:lle (time division duplexing). Viisitoista parillista ja kahdeksan paritonta spektrikaistaa on jo määritetty 3GPP:n

puolesta LTE:n käyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, että operaattorit voivat tuoda LTE:n uusia taajuuskaistoja. Tällaisia kaistoja voivat olla mm. 10 MHz:n tai 20MHz:n kantoaalto.

LTE:n kanavat voidaan jakaa kolmeen tasoon RLC (Radio Link Control) loogiset kanavat, MAC (Medium Access Control)- siirtokanavat ja PHY (Physical) fyysiset kanavat.



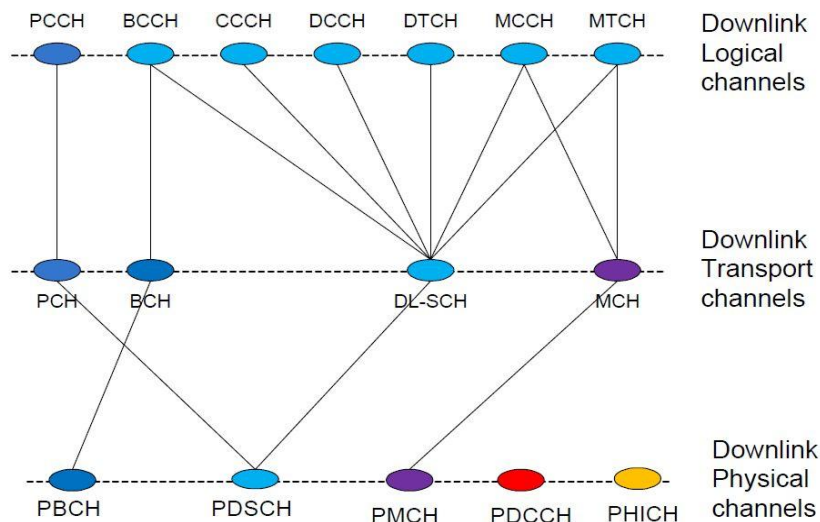
Kuva 24: LTE-kanavat ja MAC-kerros [19.]

RLC välittää dataa MAC kerrokselle loogisilla kanavilla. MAC-kerros formatoi loogisen kanavan datan ja lähettää sen siirtokanavalle. Fyysinen taso enkoodaa siirtokanavan datan fyysiselle kanavalle.

PCCH (Paging Control Channel) on downlink kanava, joka siirtää tilaajan haku informaation ja system eli järjestelmäninformaation muutosilmoitukset. Tätä kanavaa käytetään, kun verkko ei tiedä, mihin tukiasemaan käyttäjälaite on yhteydessä.

BCCH (Broadcasting Control Channel) downlink kanavaa käytetään broadcast-lähetykseen järjestelmän kontrolli-informaation saamiseksi.

CCCH (Common Control Channel) kanavalla välitetään kontrolli informaatiota käyttäjälaitteen ja verkon välillä. Tätä kanavaa käytetään, kun käyttäjälaiteella ei ole RRC (Radio Resource Control)- yhteyttä verkkoon.



Kuva 25: LTE-radiokanavat downlink-suunnassa [19.]

DCCH (Dedicated Control Channel) on päästä päähän kaksisuuntainen kanava, joka lähettää de dikoidut ko ntrolli-informaatiot käy ttäjälaitteen ja v erkon väl illä. Käyttäjälaitteet, joilla on RRC-yhteys käyttävät tätä kanavaa.

DTCH (Dedicated Trafic Channel) on päästä päähän kanava, joka on omistettu yhdelle käyttäjälaitteelle. T ällä kanavalla v älitetään käy ttäjäinformaatio. DTCH voi olla uplink ja downlink suunnassa.

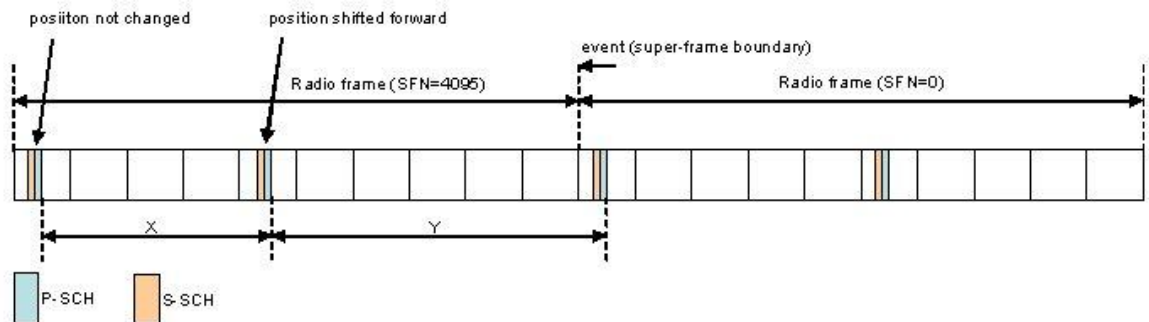
MCCH (Multicast Control Channel) on päästä päähän moniyhteys-downlink-kanava, jota käytetään lähettäessä M BMS (M ultimedia Br oadcast and M ulticast Ser vices) k ontrolli-informaatiota verkosta käyttäjälaitteelle. MCCH voi palvella yhtä tai useampaa MTCH:ta. Tätä kanavaa käyttää vain käyttäjälaitte vastaanottaakseen MBMS:n.

MTCH (Multicast T rafic Channel) on päästä p äähän mo niyhteys-downlink-kanava, jolla lähetetään "liikkuvaa" dataa verkosta käyttäjälaitteille. Tätä kavavaa käyttää vain käyttäjälaitte vastaanottaakseen MBMS:n.

PCH (Paging Ch annel) tukee käy ttäjälaitteen DRX (discontinuous r eception)-toimintoa, jolla käyttäjälaitteen tehonsäästöviestit lähetetään koko tukiaseman kantoalueelle. Se on kartoitettu fyysisiin resursseihin, joita voidaan myös dynaamisesti käyttää liikenteeseen tai muuhun kontrollikanavaliikenteeseen.

BCH (Broadcast C hannel) on ki inteästi esimääritelty si irtoformaatti broadcast koko t ukiaseaman ka ntoalueella. Ei ole t arpeellista l ähettää SFN (System F rame Num ber)-ajastinta jatkuvasti BCH:n yli, niin kuin UMTS:ssa tehdään. Tukiaseman SFN ajastin, jota

NodeB hallitsee, lähetetään eteenpäin BCH:lla. Tämä on kartoitettu P-C CPCH:n. SFN-ajastin on kooltaan 0 4095 kehystä.



Kuva 26: SCH-symboli parisijoitukset, SFN rajojen löytämiseksi [18.]

SFN-rajojen rakenteet toistuvat aina joka 4096 kehystä tai 40,96 sekunnin välein, kuten kuvan perusteella voi siirtymäajoista päätellä. Viiveefekti voi tapahtua. Tällöin keskiarvoinen viive on noin 20 sekuntia (HUOM puhutaan Super-freimi-rakenteesta). [18.]

MCH (Multicast Channel) lähettää koko tukiaseman kantoalueelle. Se tukee MBSFN:ää (Multi-Media Broadcast over a Single Frequency Network), joka yhdistää MBS-lähetysten useille tukiasemille. Tukee myös semi-staattista resurssisijoitusta.

DL-SCH (Downlink Shared Channel) tukee mm. HARQ:ia (Hybrid automatic repeat request) ja dynaamista linkkiadaptaatiota vaihtelevilla modulaatioilla, koodauksella ja lähetysteholla. Se tukee lähetystä koko tukiaseman kantoalueella. Vaihtoehtoisesti tukee "beam forming", dynaamista ja semi-staattista resurssisijoitusta, käyttäjälaitteen epäjatkuvaa vastaanottoa (DRX) käyttäjälaitteen tehon säätöön. Se tukee myös MBMS-lähetystä.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) sisältää DL-SCH:in sekä PCH:n. Kanava tukee QPSK-, 16-QAM-, ja 64-QAM-modulaatioita.

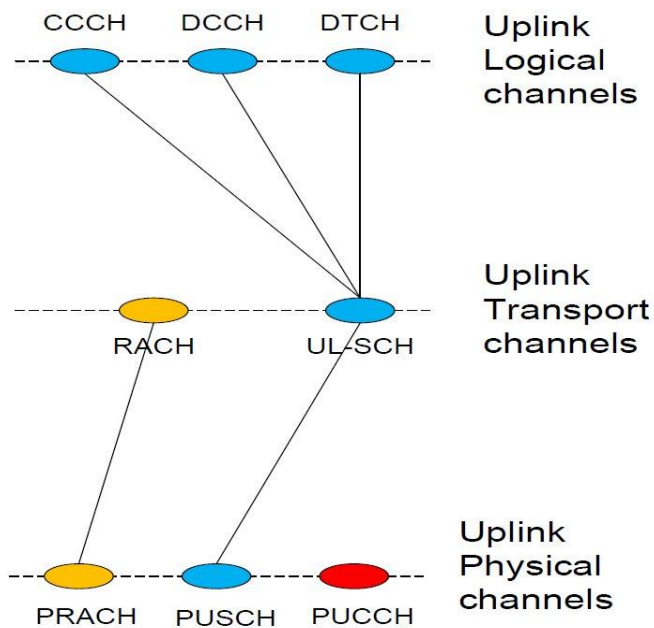
PDCCH (Physical Downlink Control Channel) informoi käyttäjälaitetta PCH- ja DL-SCH-kanavien resurssisijoituksista, sekä HARQ-informaatiosta liittyen DL-SCH:n. Se kuljettaa uplink-suunnan ajastustiedot mukaanluettuna TPC:n (Transmit Power Control). Kanava käyttää QPSK-modulaatiota.

PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) välittää HARQ ACK/NAK eli hyväksy/hylkää-vastaukset uplink-lähetyksille. Kanava käyttää QPSK-modulaatiota.

PBCH (Physical Broadcast Channel) eli koodattu BCH siirtoblokki on kartoitettu neljään sub-freimiin 40 ms:n välein. 40 ms:n ajoitus on sokeasti löydetty eli erillistä signalointia,

jolla 40 ms ajoituskohta osoitetaan ei ole. Jokaisen osakehyksen on oletettu olevan itsessään dekodattavissa eli BCH voidaan dekodata yhdestä vastaanotosta, olettaen kanavan olosuhteiden olevan riittävät. Kanava käyttää QPSK-modulaatiota.

PMCH (Physical Multicast Channel) kantaa MCH:n. Kanava käyttää QPSK-, 16-QAM- ja 64-QAM-modulaatioita.



Kuva 27: Uplink-radiokanavat [19.]

Uplink-kanavat ovat osittain samat kuin downlink-kanavat, mutta joitakin eroja löytyy. Erilisiä uplink-kanavia on muutamia.

RACH (Random Access Channel) kuljettaa minimaalisen määrän informaatiota. Lähetykset kanavalla saattavat hävitä törmäyksistä johtuen.

UL-SCH (Uplink Shared Channel) tukee "beam forming" -toimintoa sekä dynaamista linkki adaptaatiota. Tuettuna on myös HARQ, sekä dynaaminen ja semi-staattinen resursi sijoitus.

PRACH (Physical Radio Access Channel) kuljettaa "random access preamble":n. Nämä "random access preambles":t generoidaan Zadoff-Chu sekvenssillä nollakorrelaatioitasolla.

PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) kuljettaa UL-SCH:n. Kanava käyttää vaihtoehtoisesti QPSK-, 16-QAM- ja 64-QAM-modulaatioita.

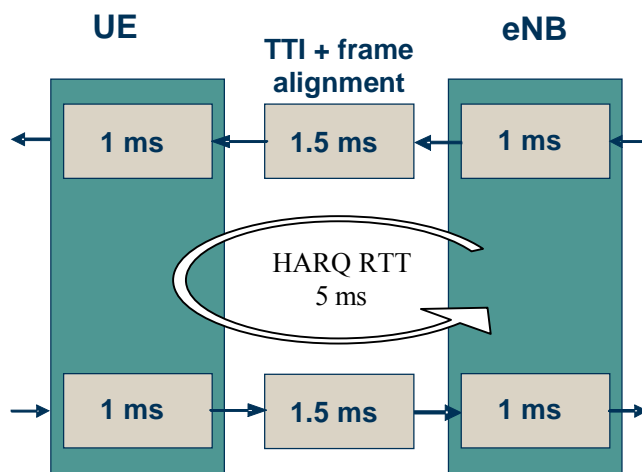
PUCCH(Packet Up link Control Channel) välittää HARQ ACK /NAK eli hyväksy/hylkää-vastaukset downlink-lähetykseen. Sen tehtävänä on myös välittää Scheduling Request (SR), sekä CQI (Channel Quality Indication)-raportit. Kanava käyttää BPSK- ja QPSK-modulaatioita.

MAC-tasokäyttää PDCCH:tä ilmoittaakseen radioresurssin sijoituksesta. RNTI (Radio Network Temporary Identifier), joka on kartoitettu PDCCH:hen riippuu loogisen kanavan tyypistä. [19.]

U-Plane eli käyttäjätason viiveen määrittäminen – U-plane-viive on määritetty yksisuuntaiseksi lähetyssajaksi, joka on paketin saatavuus IP-kerroksella joko UE/RAN-rajalla ja tämän saman paketin saatavuus IP-kerroksella RAN-rajalla nodeB/UE. RAN-rajalla on kohta, josta on yhteys RAN-liitäntään core verkon suuntaan.

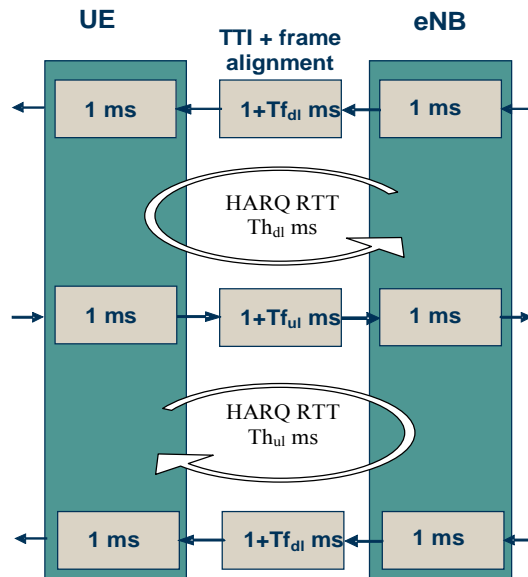
Spesifikaatio sallii, että E-UTRA U-plane viive on vähemmän kuin 5 ms unload-suuntaan (eli yksi käyttäjä ja yksi data streami) pienellä IP-paketilla.

FDD viiverakenteessa LTE U-plane-viiveet koostuvat noden prosessointiviiveistä, TTI (Transmission Time Interval)-kestosta ja radiokehyslukituksesta. Viivekomponentit on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28: Käyttäjätason viivekomponentit LTE:ssä [18.]

TDD viiverakenteessa LTE U-plane-viiveet koostuvat noden prosessointiviiveistä, TTI-kestosta, radiokehyslukituksesta ja S1-U viiveistä. Viivekomponentit TDD:lle on esitetty kuvassa 29. [18.]



Kuva 29: TDD U-Plane viivekomponentit [18.]

4.2 Tukiasemataso

4.2.1 Kontrollitaso

LTE

LTE/SAE:ssä on 3GPP:n standardin vaatimuksena kontrollitason siirtymäviive LTE_IDLE-tilasta LTE_ACTIVE-tilaan oltava enintään 100 ms. Kuten on jo mainittu LTE:ssä on käytössä FDD (frequency division duplexing) ja TDD (time division duplexing), ne kuuluvat käyttäjätason viiveisiin. Vaadittava viivetaso ääntä siirrettäessä, jotta ääni ei pätki on noin 200 – 100 ms. Tämä tarkoittaa, että useimmat vanhemmista VoIP paketteja välittämään kykenevistä verkoista eivät tarjoa tarvittavaa välitys ominaisuuksia. Tämä voidaan todeta mitattaessa ping arvoja eri verkoista:

- Kiinteä DSL: 123 ms
- Wi-Fi samassa DSL linjassa: 126 - 219 ms
- 3G/UMTS: 200 - 300 ms
- GPRS [Compaq Wireless Pack]: 1103 - 1339 ms
- GPRS [Bluetooth, Ericsson T68]: 931 - 1004 ms
- GSM CSD [Bluetooth, Ericsson T68]: 1058 - 1085 ms.

GSM:n laaja taajuus kirjo antaa sille hyvän skaalautuvuuden, mutta lyhyissä aika jaksot voivat aiheuttaa ongelmia piitäkseen puhelimet synkronoituna. Radiosignaaliilla kesää vain 0.003 μ s kulkea kilometri, mikä tarkoittaa noin 0.4 μ s:n edestakaisin viivettä, jos puhelin on 60 km:ä tukiasemasta. Aikajakso kestää vain 0.577 μ s, mutta se on tarpeeksi ohittamaan puhelimen aika jakson kokonaan. Tämä ei kuitenkaan ole kuultavissa ihmis-korvalla.

Taulukossa 3 esitetyissä viive arvoissa ei ole tila siirtymä viiveistä, kuten jo mainittu 100 ms LTE_IDLE-tilasta LTE_ACTIVE-tilaan siirtymä viive. Lisäksi näihin lukeutuu C-Plane eli kontrollitason viiveet noin 50 ms. Nämä kontrollitason viiveet koostuvat mm. eNodeB prosessointi viiveestä, MME prosessointi viiveestä ja siirtoviiveistä.

Taulukko 3: Ominaisuus vertailu

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink nopeus bps	384 k	14 M	28 M	100M
Max uplink nopeus bps	128 k	5.7 M	11 M	50 M
Edestakaisin matka latenssi	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP release	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Käyttöönotto vuosi	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Metodi	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

Näiden lisäksi LTE on all-IP pohjainen verkko, joka tukee IPv4 ja IPv6. Erillistä perustaapaa kuljettaa ääntä ei ole, vaikka se voidaan viedä VoIP:ssa.

4.2.2 Turvallisuuden hallinta

Tällä hetkellä UMTS-turvallisuusasetukset ja -ilmoitukset verkosta käyttäjälaitteelle tapahtuvat Security Mode Command -viestin avulla. LTE-järjestelmän turvallisuus näkökohdan vaatimuksena on sisällyttää ne RRC-kerrokselle. NAS-kerros ja U-plane-datalle ovat samat kuin UMTS:ssa. LTE:ssä on mahdollista käyttää R99 U SIM:iä turvallisuustoimenpiteissä. Lisäksi SA3 (SA WG3 vastaa turvallisuus asioista 3GPP:ssä) ei suunnittele mitään erityistä turvallisuuslisäosaa ol emassa ol evaan U SIM-spesifikaatioon. SA 3 olettaa, että

USIM:ä käytetään muodostukseen yhteisen autentikaation ja luodaan 2 56-bittiset istuntoavaimet (kaksi avainta joista kukin on 128-bittinen).

Turvallisuusalgoritmi näkökohdassa SA 3 suunnittelee käyttäjänsä kantaerityksiä algoritmia RAN2-spesifikaatiossa:

- 1) Snow3G-algoritmi on käytössä UEA2/UIA2.
- 2) Kasumialgoritmi on käytössä UEA1/UIA1.

Johdetaan uusia turvallisuustoiminnoista on SCI (Security Context Information) erilainen LTE:ssä kuin UMTS:ssä.

NAS-turvallisuussisältöinformaatio (eli security key) hallitaan RRC_IDLE-tilassa. Siitä johdetaan, että kun käyttäjälaite on suorittanut liityntäprosessin molemmat MME:t käyttäjälaite säilyttävät voimassaolevat NAS SCI (security context information):n. Yhteyden muodostuksen aikana RRC ja U-plane turvallisuus vaaditaan aktiiviksi käyttäjälaitteessa ja tukiasemassa. SGI (security context information) koostuu:

- Ø RRC&U-plane turva-avain
- Ø Security Capability information (Eli turvallisuus algoritmi)
- Ø Sekvenssinumero RRC&U-plane turva-avaimelle

Huom: RRC&U-plane: Oletetaan RRC ja U-plane:lle samat asetukset.

RRC&U-plane-turva-avain

RAN2:ssa RRC&U-plane-turva-avain tukiasemalle generoidaan suoraan MME(NAS):ssa. RRC&U-plane-turva-avain:

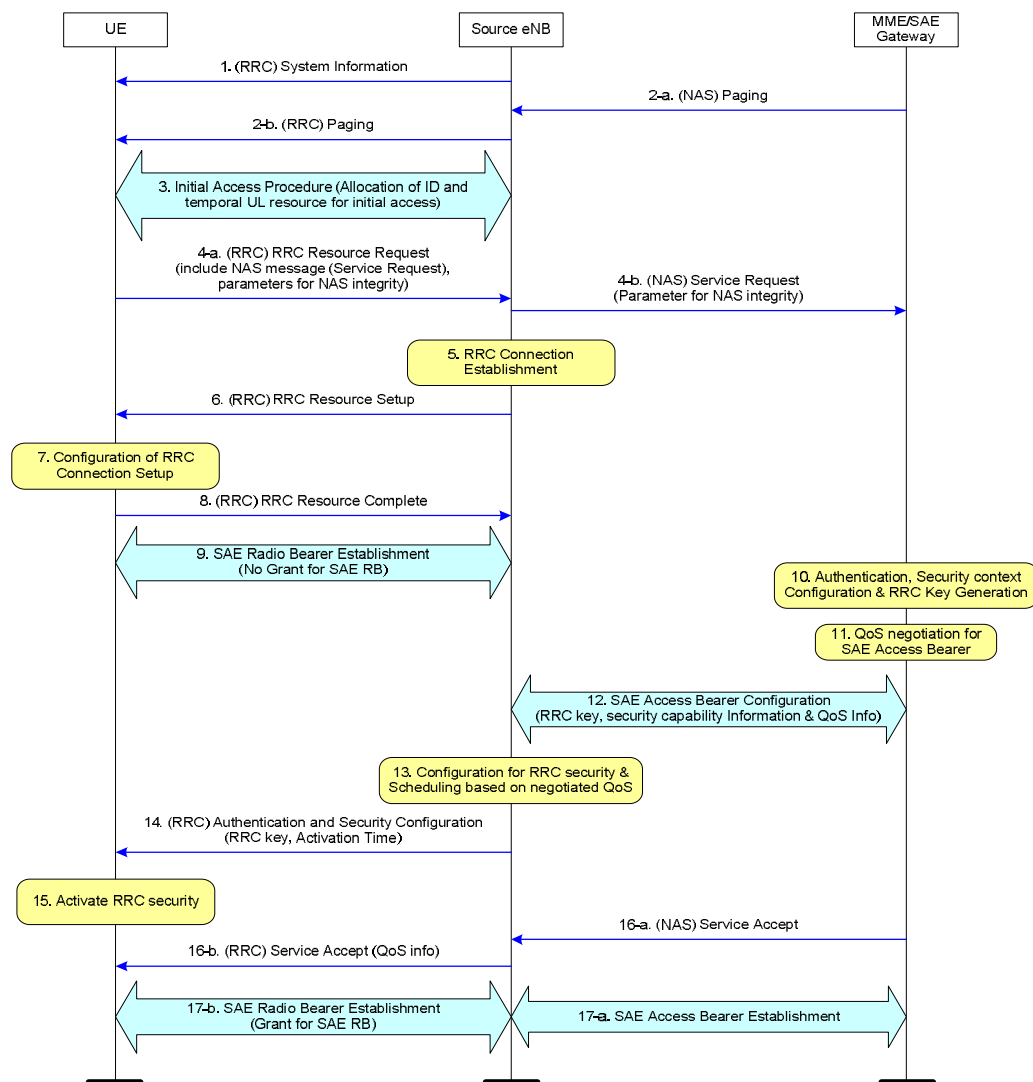
- Ø RRC&U-plane avain käytetään uudelleen sen jälkeen, kun UE siirtyy LTE_IDLE tilaan.
 - Hyvä: Ei tarvetta generoida RRC&U-plane turva-avainta puhelun asetusprosessissa.
 - Huonoa: Kasvanut monimutkaisuus UE toteutuksessa, koska turva-parametrit (esim. HFN (Hyper Frame Number)) joudutaan hallinnoimaan UE:lla (käyttäjälaite).
- Ø RRC&U-plane avain generoidaan edellisestä RRC&U-plane avaimesta

- Hyvää: Ei tarvita turva parametreja (kuten HFN) käyttäjälaitteella, koska ne voidaan hylätä.
- Huonoa: Kasvanut monimutkaisuus UE-toteutuksessa, koska UE joutuu johtamaan avaimen itse.

Sekvenssinumero (SN)

Varmistaakseen SN-synkronisaation UE:n ja eNB:n välillä SN informaation vaihtoa UE ja eNB välillä tulee tukea (kuten Security Mode Command UMTS:ssa).

Tällä hetkellä RAN2 on yleistä olettaa, että MME (NAS) tulee suorittaa autentikaatio käyttäjälaitteen kanssa puhelun asetusprosessin aikana. UE:n tulee antaa NAS-yhtenäisyys informaation MME:lle tukiaseman kautta käyttäen RRC Resource Request -viestiä (kuva 33). [18.]



Kuva 30: Turvallisuuskomponentit soiton yhteydessä [18.]

4.2.3 Tehonsäätö

BSC(Base Station Controller) kontrolloi tehonsäätöä GSM-järjestelmässä, kuten GSM-järjestelmäesittelyssä on mainittu. Matkapuhelimen maksimitehoarvo on 2 W GSM-järjestelmässä. Tehon säädöllä voidaan itsenäisesti vaikuttaa tukiaseman tai matkapuhelimen lähetystehoon. Matkapuhelimen on GSM-spesifikaation mukaan kyettävä säätämään tehoaan maksimitehosta arvoon 13 dBm 2 dB:n portain. Matkapuhelimen on säädettävä tehoaan 2 dB/60 ms, joten koko 30 dB:n alueen säätö kestää noin 900 ms.

3G: teho säädetään 1500 kertaa sekunnissa. Nopeammalla tehonsäädöllä 3G-järjestelmässä pyritään vähentämään häiriöitä ja siten häiriöiden vaikutusta kapasiteettiin. UMTS:n tehonsäätö voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin.

1. Open loop power control

- Teholaskenta pohjautuu DL pilot-tason UE:n mittauksiin

2. Outer (closed) loop power control

- Yhteys laatumittaukseen (BER, BLER) ja vertaus QoS tavoitteeseen

3. Fast closed loop power control

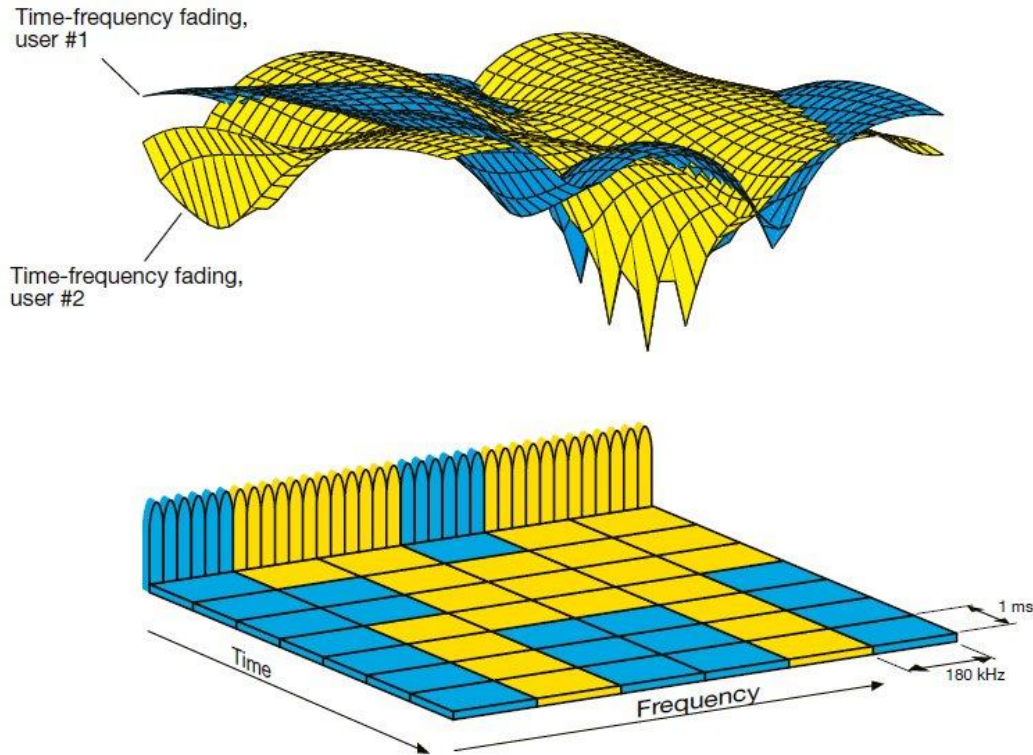
- Radio linkki RF laatu (SIR) mittaukset ja vertailu RF laatu tavoitteeseen (SIR tavoite)
- Power control command-lähetys pohjautuen RF-laatuarviointiin
- Lähetys tehon vaihto riippuen vastaanotetun power control command:n arvosta

LTE:ssä Power control valitsee lähetystehon tason, tyypillisesti se tähtää

- Parantamaan järjestelmän kapasiteettia, kantoaluetta ja käyttäjän laatua (dataa ja ääni laatua) sekä
- vähentämään tehon kulutusta.

Power control-prosessit sisältävät uplink- ja downlink-tehonsäädön. Tehonsäätö määrittää energia per resurssi elementti yksikön (EPRE). Tehonsäätö OFDMA järjestelmissä ei ole niin kriittistä kuin CDMA järjestelmissä. Tämä johtuu siitä että OFDMA:ssa UE on erillään ajallisesti ja taajuudellisesti, kun taas CDMA:ssa jaetaan sama fyysinen kanava, ja erottelu tapahtuu koodeilla. Se vaatii paljon tiukemmat rajat saantiteholle. Tehonsäädön tärkeys kasvaa MU-MIMO:n myötä. Se toimii parhaiten, kun saantiteho jokaiselta UE:lta

tukiasemassa eNB on tasapainossa. Uplink vaatii tiedot tehon säädöstä aina yhdeksään parametriin asti. Parametrit vaaditaan PUSCH:lle, PUCCH:lle ja SRS:lle (Sounding Reference Signal). [18.]



Kuva 31: LTE-tehon säätö [20.]

Downlink:ssa kaikki teho on varattu radio signaalille. Radio signaalia lähetetään vakioiteholla koko järjestelmä kanavan kaistanleveydeltä. Suhde RS EPRE ja PDSCH:lle yhdelle käyttäjälle on määritettävissä. RS:n tehostus on myös tuettuna.

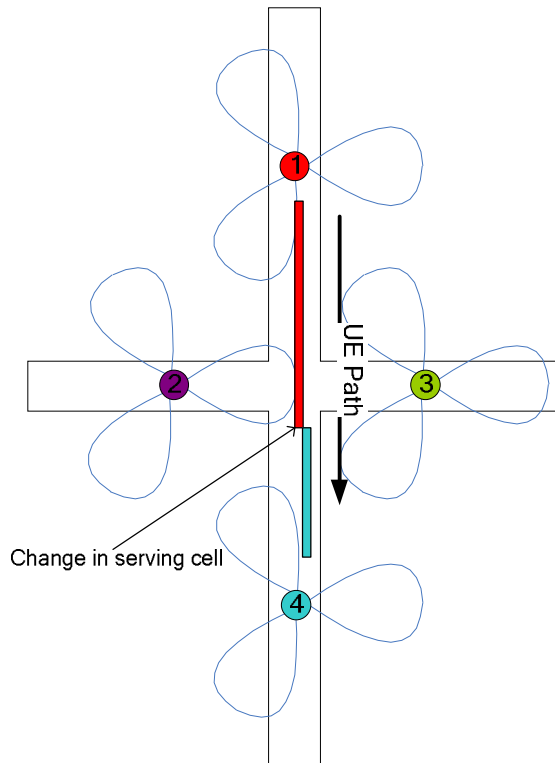
4.2.4 Katukanjoni

Katukanjoni ympäristöt ovat haastavia, koska kulmahäviöt ovat suuria. Tämä aiheuttaa mobiiliteetissa erittäin nopeita vaihteluita signaalin vahvuudessa. On tiedossa, että tyypilliset kulmahäviöt saattavat olla jopa 4 dB/m.

Seuraavassa vertailuskenariossa käytetään 4 tukiasemaa eli eNodeB:tä. Aluksi eNodeB "1" on palveleva tukiasema, kun käyttäjälaite liikkuu eteenpäin risteyksessä.

GSM

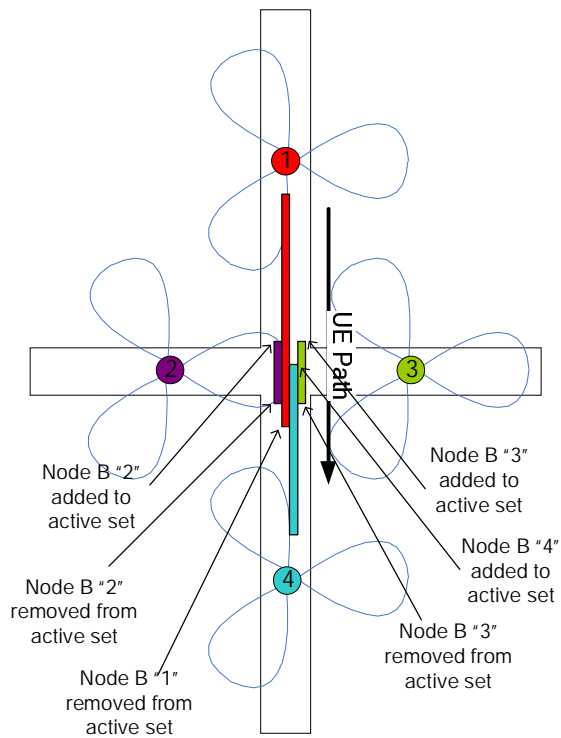
Johtuen taajuuksien uudelleen käytöstä äkkinäisiä muutoksia radio signaalin tasossa ei tapahdu. Näin ympäristössä tapahtuvat muutokset ovat rajalliset ja siten signaali tasot hyvin ennakoitavissa.



Kuva 32: GSM katukanjonissa [18.]

UMTS

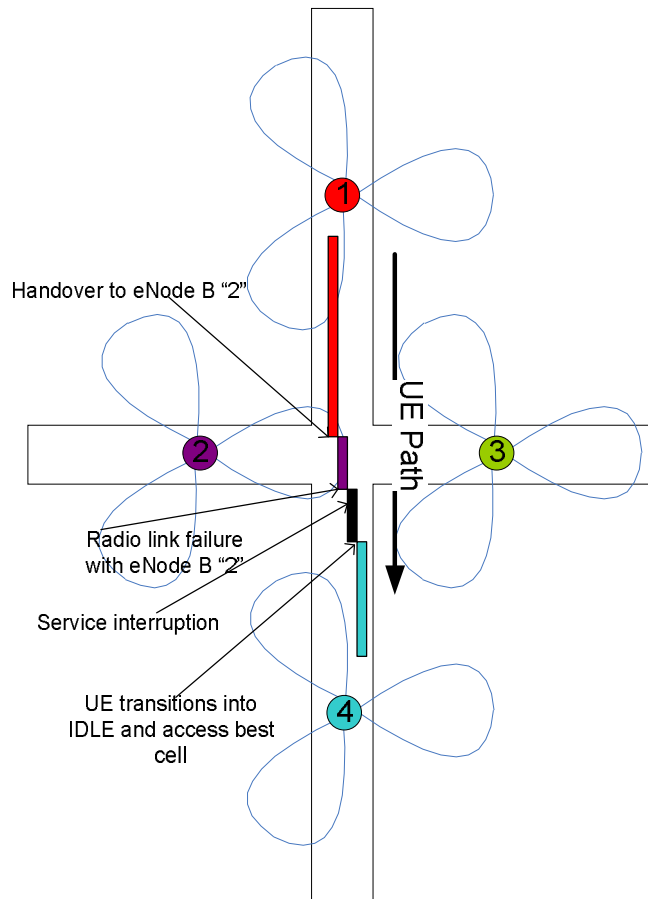
Toisin kuin GSM-järjestelmässä UMTS käyttää makrodiversiteettiä, joka mahdollistaa että UE lisää heikompia tukiasemia aktiivitilaan. Jokainen "soft handover" listaus tapahtuu ennen kuin tukiasemasta tulee vahvin linkki. Makrodiversiteetti varmistaa että luotettava linkki UE:n ja verkon välillä on olemassa, vaikka UE kokee äkkinäisiä muutoksia signaalin vahvuuteen, jostakin tukiasemasta.



Kuva 33: 3G/UMTS katukanjonissa [18.]

LTE

Matkapuhelimen liikkua risteystä kohti sen signaali tukiasema 1 heikkenee. Näin ollen jompikumpi risteyksessä vahvemman signaalin omaavat tukiasemat 2 tai 3 saa matkapuhelimen välitettäväkseen. Johtuen nopeasta signaalin tason muuttumisesta matkan jatkuessa risteuksen ohi ei tarvittavaa suodatinta signaalin vahvuudelle ehditä ottaa käyttöön. Tästä johtuu yhteyskatko palvelevaan tukiasemaan, jota ei ole ehditty handoverilla antaa seuraavalle tukiasemalle. Myöhemmin on suunnitteilla tukea "Forward handover" ominaisuutta, jolla yhteyskatko aika lyhenee.



Kuva 34: LTE katukanjonissa [18.]

Kuten kuvista voi helposti päätellä verrattuna GSM- ja UMTS-järjestelmiin LTE:llä on huomoin mobilitetti. Vertailtaessa tukiasemia ja niiden suorituskykyä myös taajuudet vaikuttavat. GSM-järjestelmässä on alhaisimmat taajuudet, jotka osaltaan saattavat vaikuttaa signaalin läpäisyyn.

Taulukko 7: Tekniikka vertailu

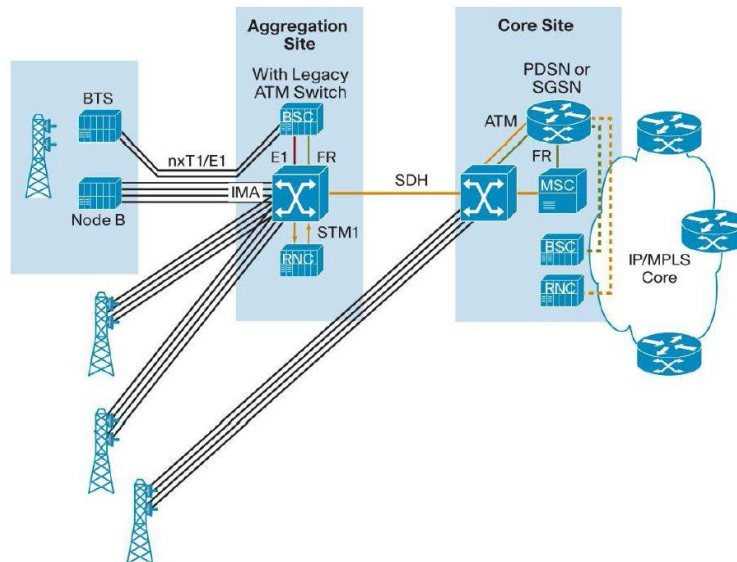
Tekniikka	GSM	UMTS	LTE
High frequency reuse	Kyllä	Ei	Ei
Macro diversity	Ei	Kyllä	Ei
Forward handover	Ei	Kyllä	Ei

4.3 Kytkenäverkko

4.3.1 Verkon arkkitehtuuri

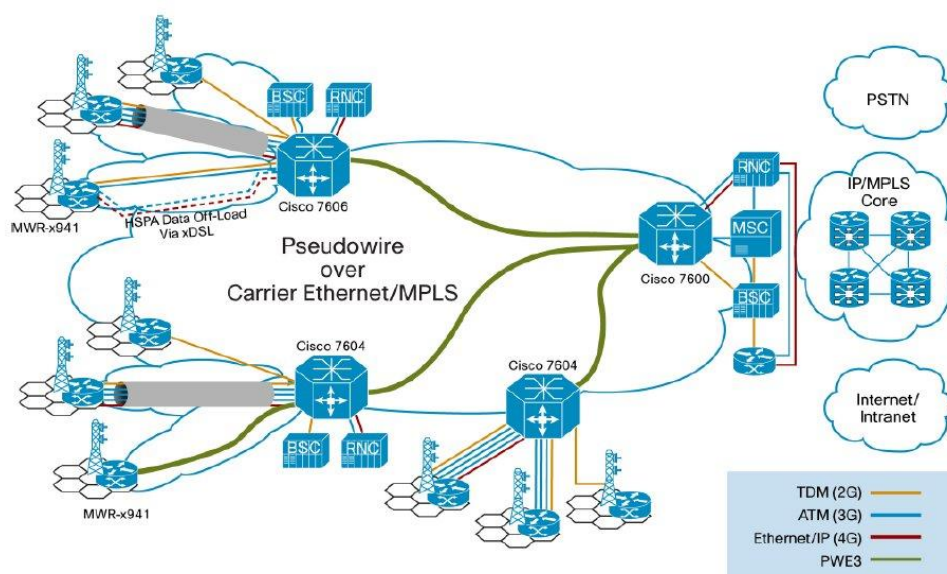
Mobiilioperaattorit ovat haasteen edessä, jossa useat palvelut yhdistyvät. Palveluita, ovat täysin IP-pohjainen verkko ja Multiprotocol Label Switching (MPLS). Johtuen näistä uudis-

tuksista ja näiden teknologioiden tuomasta parannuksesta ja skaalasta, joudutaan hallitsemaan useita palveluita. Siirtyäkseen IP- ja MPLS-verkkoihin ydinverkosta ulospäin esim. RAN ei vielä kykene hallitsemaan IP:tä. Laajakaistaliikenne, johtuen korkeasta hinnasta tulee väistämättä hillitsemään soluinfrakstruktuurin kehitystä. Alla olevista kuvista voi seurata Ciscon arviota tästä kehityksestä.



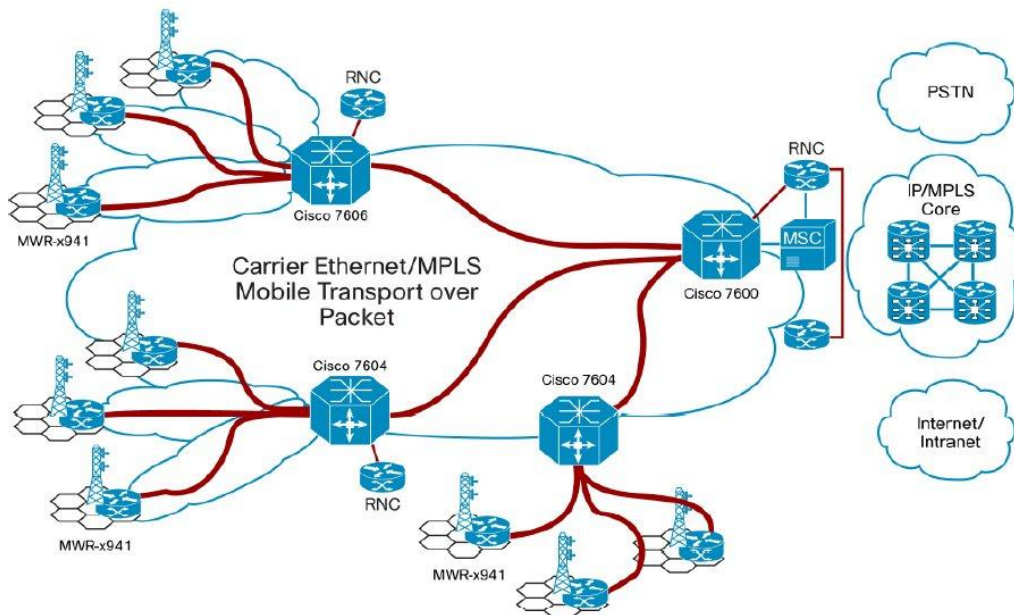
Kuva 35: GSM verkon hallinta [21.]

Aikaisemmin RAN hallinta ratkaisut ovat pohjautuneet T1 tai E1 linjoihin. Ne kuljettavat hallinta liikennettä BTS:stä (Base Transceiver Station) ja NodeB:stä tukiasema tornista ydin verkkoon. Vaihtoehtoisesti liikenne ohjataan ATM kytkimelle, joka kuljettaa paketit eteenpäin.



Kuva 36: HSPA verkon hallinta [21.]

Euroopassa käytetään enkoodattua DSL linjaa tukiasemalle. Se hallitsee HSPA:ta käyttäen pseudo- tai virtuaali-linjoja. HSPA dataa ladataan ethernet verkon kautta virtuaali-linjoja pitkin.



Kuva 37: All-IP-verkon hallinta [21.]

Muutos all-IP ethernet RAN verkkoon tulee olemaan monivuotinen prosessi suurimmalle osalle mobiili operaattoreita, joilla tyypillisesti on 2G ja 2.5G verkot jo olemassa. Verkoissa tulaan käyttämään IP MPLS (Multiprotocol Label Switching) tekniikkaa aina tukiasemalta verkko operaattorin hallintakeskukseen.

4.3.2 Yhdyskäytävät

Usein Gateway (S-GW,P-GW) on pääsy yhdyskäytävän alusta, joka palvelee LTE/SAE-tukiasemia. Se sisältää prosessorin klusteriarkkitehtuurin jakaakseen ja balansoidakseen kuormia riippuen niiden suuruudesta, liikenteestä ja tarvitsee pienet käyttökustannukset. Tässä yhdyskäytävälustassa on yleistä hintalaatusuhteen skaalassa S-GW-, P-GW- ja MME-toiminnot samassa yksikössä. Yksikön toimintojen eristäminen ja optimointi on tapa parantaa järjestelmän toimivuutta. Lisäksi koko verkon on tuettava IPv4/v6 ja mobiili-IPv4/v6 kaksoiskerrostilaa, jotta varmistetaan yhteentoimivuus IPv4 IP osoitteiden loputtua.

4.3.3 Multimedia

Verkojen suorituskyvyn optimoimiseksi mobiilioperaattorit haluavat yksinkertaistaa ydinverkkoarkkitehtuuria huomattavasti käyttäen EPC-teknologiaa. EPC vähentää eri verkko-

yksiköiden määrää ytimessä, joka vähentää viivettä, vaikka liikennemäärät kasvavat. Se yksinkertaistaa IP-pohjaisten verkkojen käyttöönottoa ja vähentää kustannuksia.

EPC käyttää IMS(IP Multimedia Subsystem)-komponenttina. Se myös hallitsee QoS:n (Quality of Service) koko järjestelmässä. IMS on tärkeä osa, koska se mahdollistaa multimedia-pohjaiset palvelut.

Vaikka EPC:tä tullaan käyttämään LTE:n kanssa, sitä tullaan käyttämään myös HSPA+:n kanssa. Siinä se tarjoaa askelman LTE:lle. Tärkeintä on LTE-verkkojen jatkuva ja yhtenäinen tuki GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSPA-asiakkaille.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Puhelut

Olemassa olevista järjestelmistä GSM on luotettavin, johtuen osin sen iästä. Pienillä nopeuksilla tapahtuvassa korkeaa luotettavuutta vaativassa liikenteessä LTE ei tarjoa mitään erityistä hyötyä. LTE-järjestelmän turvallisuustaso on korkeampi, mutta sen prosessointi on myös vaikeampaa. LTE-radion rajapinta tarjoaa teknisesti parempaa laatua, mutta käytännössä verkkojen luotettavuuden rajoitukset estävät luotettavuuden parantumisen. GSM-järjestelmän poistaminen ei ole operaattoreille järkevää, koska järjestelmään tukeudutaan niin monella taholla, ja se on luotettava. On todennäköistä, että tulevaisuudessa nähdään eri verkkojen poistumisia uudempien teknologioiden yleistyessä. Pysyvien ja poistuvien verkkojen todennäköisyys jakautuu kahteen osaan uudemmat dataverkot ja luotettava GSM-puhelinjärjestelmä. Poistuvat verkot ovat ne joita ei käytäjalaitteiden puuttuessa tai alhaisen käytön takia enää tarvita esim. GPRS korvautuisi 3G:llä LTE:n tullessa.

Verkot

LTE/SAE-ydinverkon tarkoituksena on yhtenäistää ja nopeuttaa pakettien kulkua. Tämä pitää paikkansa, koska verrattuna vanhaan tässä uudessa verkkomallissa on vähemmän osia ja siten lyhyempi neuvottelu- ja prosessointiaika. Uusi verkkoarkkitehtuuri myös alentaa kustannuksia, mikä nyky maailmassa on hyvin tärkeää.

Palvelut

LTE on suunniteltu pakettiliikenteelle ja on siten huomattavasti skaalautuva reaaliaika liikenteeseen. Eri data- ja multimediapalvelut saavat LTE-verkkojen myötä varmasti uuden loistoaikinsa.

VIITELUETTELO

- [1.] Dipl. Ing. Peter Scholz Kathrein – Basic Antenna Principles for Mobile Communications KATHREIN-Werke KG
- [2.] Aho, Olavi: antennityyppejä, ver. 9.1
- [3.] MIMO – verkkodokumentti – verkkodokumentti viitattu 23.11.2009
<http://fi.wikipedia.org/wiki/MIMO>
- [4.] Carlson A.B.&Co. Communication systems.. (4ed,MGH,2002)
- [5.] OFDM – verkkodokumentti – verkkodokumentti viitattu 24.11.2009
<http://fi.wikipedia.org/wiki/OFDM>
- [6.] C.Gessner Rohde & Schwarz UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction 09.2008
- [7.] GSM – verkkodokumentti – verkkodokumentti viitattu 25.11.2009
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Gsm>
- [8.] GSM-verkko arkkitehtuuri – verkkodokumentti viitattu 25.11.2009
<http://www.telecomspace.com/gsm.html>
- [9.] UMTS – verkkodokumentti – verkkodokumentti viitattu 25.11.2009
<http://fi.wikipedia.org/wiki/UMTS>
- [10.] 3G-verkko arkkitehtuuri – verkkodokumentti viitattu 25.11.2009
<http://www.ccpu.com/news/articles/200802-femtocellintegrate.html>
- [11.] WCDMA – verkkodokumentti viitattu 25.11.2009
<http://fi.wikipedia.org/wiki/W-CDMA>
- [12.] LTE – verkkodokumentti viitattu 26.11.2009 <http://fi.wikipedia.org/wiki/LTE>
- [13.] Per Beming, Lars Frid, Göran Hall Peter Malm, Thomas Noren, Magnus Olsson and Göran Rune Ericsson Review No. 3, 2007 LTE-SAE architecture and performance
- [14.] EUTRAN kooste kuva – verkkodokumentti viitattu 27.11.2009
<http://www.ccpu.com/papers/lte-eutran/>
- [15.] GSM spesifikaatiot – verkkodokumentti viitattu 27.11.2009
<http://www.rfcafe.com/references/electrical/gsm-specs.htm>
- [16.] Penttinen, Jyrki GSM-tekniikka Werner Söderström
- [17.] UMTS-yleistä Stadia Tietoliikenne
- [18.] 3GPP release 8 – verkkodokumentti viitattu 27.11.2009
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36-series.htm>

- [19.] 3GPP LTE Channels and MAC Layer EventHelix.com Inc. 2009
- [20.] LTE: What, Where, and When 29 Jan 2009, M I Barkway
- [21.] Cisco white paper c11-496914 10.2008