



MOBIILILAITTEIDEN LANGATTOMAT TIEDONSIIRTOTEKNIIKAT

Karri Kaivo
Valteri Pajunen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja
tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

KAIVO, KARRI & PAJUNEN, VALTTERI:
Mobiililaitteiden langattomat tiedonsiirtotekniikat

Opinnäytetyö 48 sivua
Toukokuu 2014

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi matkapuhelinverkkojen kehitysvaiheet, keskeiset tiedonsiirtomenetelmät, ominaisuudet, soluverkotus ja jokaisen sukupolven tiedonsiirron kapasiteetti. Lyhyen kantaman tiedonsiirtomenetelmistä käydään läpi RFID, Bluetooth ja WLAN. Tarkoituksena on luoda kuva kyseisten tekniikoiden toiminnasta ja mahdollisuuksista.

Matkapuhelinverkkojen sukupolvia on neljä (1G, 2G, 3G, 4G). Näiden neljän modulaatiomenetelmät, verkon rakenteet, tiedonsiirtotekniikat, taajuusalueet ja tukiasemajärjestelmät käydään läpi. Sukupolvien kehitys nykyiseen pisteeseen on tärkeimpänä osana opinnäytteen sisältöä ja kehityksen kannalta keskeisimmät siirtymät käydään läpi.

Lyhyen kantaman langattomista tiedonsiirtotekniikoista käsitellään tunnistisiin tarkoitettu RFID, laitteiden välinen Bluetooth ja langaton lähiverkko WLAN standardeineen. Tekniikoilla on vakaa pohja nykyisten ja tulevien mobiililaitteiden vakiovarusteena, jonka perusteella valittiin nämä käsiteltäviksi opinnäytetyössä.

Langattomien tiedonsiirtotekniikoiden kehitys on edennyt käyttäjätasolla jo sille tasolle, että ne pystyvät haastamaan langalliset kilpailijansa luotettavuudellaan, liikkuvuudellaan ja tiedonsiirtonopeuksillaan.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in ICT Engineering
Option of Telecommunications and Networks

KAIVO, KARRI & PAJUNEN, VALTTERI:
Wireless Telecommunication Technologies for Mobile Devices

Bachelor's thesis 48 pages
June 2014

This thesis will explain the development of mobile networks which consists of its main data transfer methods, features, cellular networking and the capacity of every generations technology. From short-range data transfer methods, RFID, Bluetooth and WLAN were studied. Thesis aims to clarify these techniques function and what possibilities they hold for the end user.

There are four generations of mobile networks (1G, 2G, 3G and 4G). The modulation methods, network structures, data transfer techniques, frequency bands and base station subsystems of every generation are presented in this thesis. The evolution of generations leading to present day is one of the key points of this thesis. Most influential evolutionary steps of mobile networks are studied closely.

From wireless short distance telecommunication technologies, RFID for tagging products, Bluetooth for point-to-point connectivity and wireless local area network (WLAN) with its standards are studied. These technologies have already achieved a standard accessory status in mobile devices and therefore were chosen to be examined closer in this thesis.

Wireless communication methods have already evolved to the point where they can truly challenge solid cable based connections at the end user level. This has been a result of improvements in reliability, mobility and transfer speeds.

Key words: NMT, GSM, UMTS, LTE, WLAN, mobile devises, cell network

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	SOLUVERKKO.....	9
2.1	Rakenne.....	9
2.2	Mitoitus.....	9
2.3	Handover.....	10
3	MOBIILIVERKOT.....	12
3.1	1G (NMT).....	12
3.2	2G.....	14
3.2.1	GSM.....	14
3.2.2	GPRS.....	15
3.2.3	EDGE.....	15
3.3	GSM-tukiasemajärjestelmä.....	17
3.3.1	Tukiasema.....	18
3.3.2	Tukiasemaohjain.....	19
3.3.3	Transkooderi.....	20
3.3.4	Matkapuhelinkekus.....	20
3.3.5	Rekisterit.....	21
3.3.6	Tunnistuskeskus.....	22
3.4	3G.....	22
3.4.1	UMTS-verkon hierarkia.....	23
3.4.2	UMTS-verkon rakenne.....	26
3.4.3	WCDMA-tekniikka.....	26
3.4.4	HSPA (High Speed Packet Access).....	27
3.5	4G (LTE).....	32
3.5.1	Verkon rakenne.....	32
3.5.2	Tiedonsiirtotekniikat.....	33
4	MOBIILILAITTEIDEN MUUTOKSET.....	36
5	LYHYEN KANTAMAN LANGATTOMAT TEKNIIKAT.....	38
5.1	RFID/NFC.....	38
5.2	Bluetooth.....	41
5.3	WLAN (Wireless Local Area Network).....	43
5.3.1	Standardit.....	43
5.3.2	Kanavat ja taajuusalueet.....	44
5.3.3	Tietoturva.....	46
6	YHTEENVETO.....	47
	LÄHTEET.....	48

LYHENTEET JA TERMIT

AuC	Authentication Center
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CEIR	Central EIR
CL PC	Closed Loop Power Control
DFT	Discrete Fourier Transform
DHC	Dedicated Channel
E-AGCH	Enhanced – Absolute Grant Channel
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
eNodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
E-RGCH	Enhanced – Relative Grant Channel
E-UTRAN	Evolved UTRAN
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FSK	Frequency Shift Keying, digitaalinen modulointimenetelmä
GAP	Generic Access Profile
GCR	Group Call Register
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile
HLR	Home Location Register
HR	Half Rate
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High Speed – Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IDFT	Inverted DFT

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IWF	Interworking Function
kbit/s	Kilobittiä sekunnissa
LTE	Long Term Evolution
Mbit/s	Megabittiä sekunnissa
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
MM	Mobility Management
MSC	Mobile Service Switching Center
NMT	Nordic Mobile Network, pohjoismaiden matkapuhelinverkko
NNS	Network Switching Sub-system
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OL PC	Open Loop Power Control
PCM	Pulse Code Modulation
PCU	Packet Control Unit
PSK	Pre Shared Key
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature PSK
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRM	Radio Resource Management
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
SIR	Signal to Interference
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TRAU	Transcoder / Rate Adapter
TRX	Transceiver
TS	Time Slot
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Wideband CDMA
WEP	Wired Equivalent Privacy

VHE	Virtual Home Network
WLAN	Wireless Local Area Network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
WPA	Wi-Fi Protected Access
YKM	Yhteiskanavan merkinanto

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda katsaus matkapuhelinteknologian langattomiin tiedonsiirtotekniikoihin, aina ensimmäisen sukupolven malleista nykypäivän LTE ratkaisuihin.

Työn pääpaino on nykyään yleisessä käytössä olevissa tekniikoissa ja niitä tarkastellaan syvemmin. Harvemmassa käytössä olevat sekä jo vanhentuneet tekniikat käsitellään pääpiirteisemmin. Niiden kohdalla painotetaan siirtymävaiheita uudempiin ja nopeampiin tiedonsiirtotekniikoihin. Soluverkkoa ja sen arkkitehtuuria käsitellään omassa kappaleessaan, jossa avataan solujen toimintaperiaatteita sekä tuodaan esille soluverkon merkitys matkapuhelinverkkojen kehityksessä.

Erilaisten matkapuhelinverkkojen tutkimisen lisäksi perehdytään myös lyhyen kantaman langattomiin tiedonsiirtotekniikoihin kuten Bluetooth-, RFID- ja WLAN-tekniikoihin. Tekniikoiden teknisiä ominaisuuksia ja niiden tarjoamia sovellusmahdollisuuksia tuodaan esille. Lopuksi esitetään vielä arvioita siitä mihin suuntaan langaton tiedonsiirto tulevaisuudessa kehittyy.

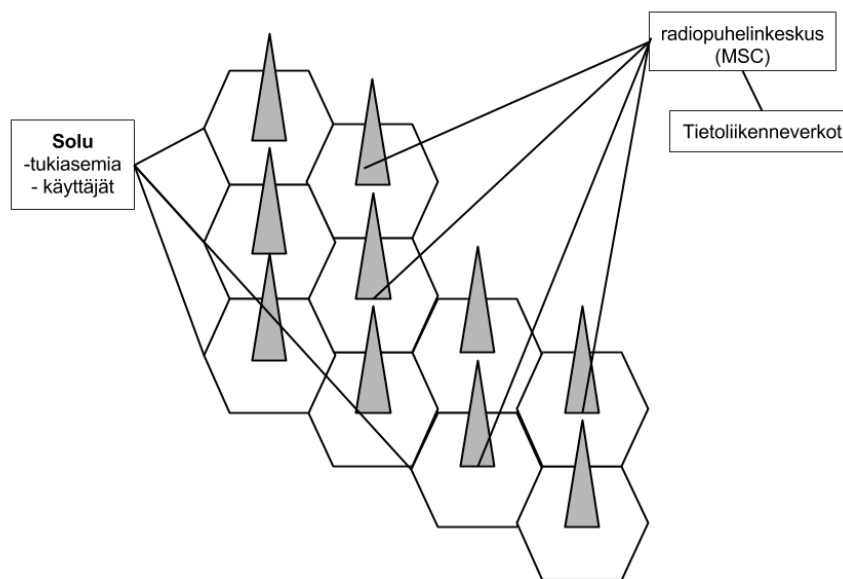
Opinnäytetyö tarjoaa lukijalleen kattavan selvityksen eri langattoman tiedonsiirron tekniikoista ja niiden kehityksestä. Työ soveltuu erinomaisesti aineistoksi, jos lukijalla on tarve perehdyttää itsenä nopeasti esimerkiksi 3G-tekniikan pariin.

2 SOLUVERKKO

Matkapuhelinverkkojen arkkitehtuurista puhuttaessa tarkoitetaan käytännössä soluverkkomallia, joka on perusta kaikille käytössä oleville matkapuhelinverkoille.

2.1 Rakenne

Soluverkko rakentuu radiopuhelinkeskuksista MSC (Mobile Service Switching Center), jotka luovat keskenään solukkomaisen kattavuusalueen tukiasemajärjestelmien BSS (Base Station Subsystem) avulla (kuva 1). Solussa voi olla useita tukiasemia, jotka ovat yhteydessä matkapuhelinkäyttäjiin. Radiopuhelinkeskukset kytkevät solut tietoliikenneverkkoihin ja hallinnoivat käyttäjien puheluita sekä liikkumista. (Nurminen 2010.)



KUVA 1. Soluverkon rakenne.

2.2 Mitoitus

Soluverkon mitoitus tehdään maaston muodon, radioaaltojen etenemisen ja käyttäjämäärien asettamien rajoitusten mukaan. Soluissa käytettyjen taajuuksien jako sovitaan siten, etteivät samaa taajuutta käyttävät solut ylikuulu toisilleen. Kaksi

samaa taajuutta käyttävää solua ei siis voi sijaita maantieteellisesti vierekkäin. Ylikuuluvuuden eliminoinnin ansiosta taajuusalueiden uudelleenkäyttö on mahdollista. (Nurminen 2010.)

Käyttötarkoituksensa mukaan solun peittämä alue voi vaihdella 50 m - 35 km välillä. Isoilla alueilla, joilla käyttäjämäärät eivät ole kovin suuria, käytetään **makrosoluja**. Kadun tai torin kattavuusalueen tekemiseen käytetään **mikrosolua**, joka sietää paremmin suuria käyttäjämääriä ja sen rajaaminen on helpompaa pienempien lähetystehojen ansiosta. (Nurminen 2010.)

Tiheään kansoitetuilla alueilla, joissa on suuri määrä käyttäjiä, tarvitaan vielä pienempiä soluja puhekanavien lukumäärän kasvattamiseksi. Esimerkiksi ostoskeskuksissa, joissa radioaaltojen eteneminen on rajattua ja käyttäjämäärät ovat suuria pienellä alueella, tarvitaan useita pieniä soluja. **Pikosoluiksi** kutsutaan rakennuksien sisällä käytettäviä soluja, joiden kantama on alle 200 m. Pienten solujen verkkosuunnittelussa tulee ottaa huomioon lähetystehon suuruus ja antennin sijoitus sekä suuntaus ylikuulumisen estämiseksi pienellä alueella. (Granlund, K 2007, 396.)

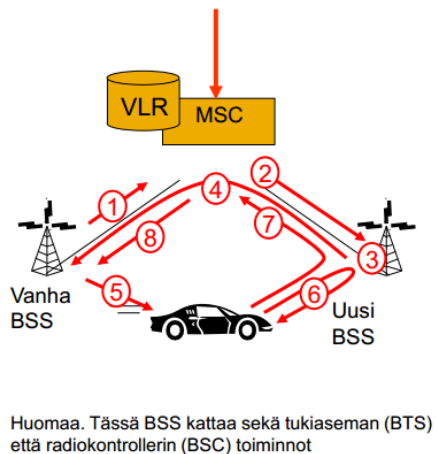
2.3 Handover

Puhelun aikana solusta toiseen tapahtuva puhelun siirto, jossa varataan uusi taajuus ja aikaväli, on nimeltään **hard handover** (kuva 2). Yhteys vanhaan soluun katkeaa kun yhteys uuteen soluun on varmistettu. (Nurminen 2010.)

Solujen päällekkäisyys mahdollistaa suuremman määrän puhekanavia alueella. Tällöin matkapuhelin voi olla yhteydessä kahteen tai useampaan soluun ja solun vaihto tapahtuu aina yhden yhteyden ollessa päällä. Vaihto on nimeltään **soft handover**. (Nurminen 2010.)

Solun vaihto tulee tarpeelliseksi, jos solun käytössä olevien puhekanavien määrä täyttyy käytössä olevassa solussa tai uuden solun signaali on vahvempi. Jossain tapauksessa voi tulla tilanne että, soluissa olevat kanavat ovat kaikki käytössä, jonka seurauksena yhteys katkeaa.

Solun vaihto on mahdollista sijainnin seurannan avulla, jonka vaikeustaso riippuu siitä onko puhelu käynnissä vai ei. Solunsiirron aikana analysoidaan tapahtuiko alueellinen siirto vai operaattorin siirto, jonka perusteella siirrosta lähetetään tieto oikealle tasolle verkon hierarkiassa. Saapuvien puheluiden kohdalla tieto lähetetään kaikkiin alueen soluihin, joissa vastaanottavan puhelimen oletetaan sijaitsevan. (Granlund, K 2007, 397.)



0. Mobiili mittaa havaitsemiensa tukiasemien voimakkuutta
1. Vanha BSS päättää vaihdon aloittamisesta ja välittää MSC:lle tiedon mahdollisista BSS:stä
2. MSC luo yhteyden uuteen BSS:ään
3. Uusi BSS varaa radiokanavan mobiiliin käyttöön
4. Uusi BSS signaloi MSC:lle ja uudelle BSS:lle kun on valmis
5. Vanha BSS signaloi mobiilia vaihtamaan
6. Mobiili ja uusi BSS aktivoivat uuden kanavan
7. Mobiili signaloi MSC:lle kun vaihto on valmis MSC uudelleen reitittää puhelun
- 8 Vanhat resurssit vapautetaan.

KUVA 2. Solun vaihto GSM-verkossa. (Nurminen 2010.)

3 MOBILIVERKOT

3.1 1G (NMT)

1G verkoista puhuttaessa tarkoitetaan ensimmäisen sukupolven verkkotekniikoita. Suomessa ja Pohjois-Euroopassa 1G koostui lähinnä NMT-verkosta (Nordic Mobile Telephone). Vastaavia järjestelmiä oli käytössä myös muualla. Niitä olivat muun muassa Englantilainen TACS (Total Access Communications System), amerikkalainen AMPS (Advanced Mobile Phone System), saksalainen Netz-C ja ranskalainen Radiocom. 1G verkkojen aikakausi sijoittui pääasiassa 1980-luvulle. Tekniikoiden suurimpia vajavaisuuksia oli niiden keskinäinen yhteensopivuuden puute. Tästä syystä tarve kehittyneemmille ja laajempia alueita kattaville verkoille oli kova. (Penttinen 2006a, 14.)

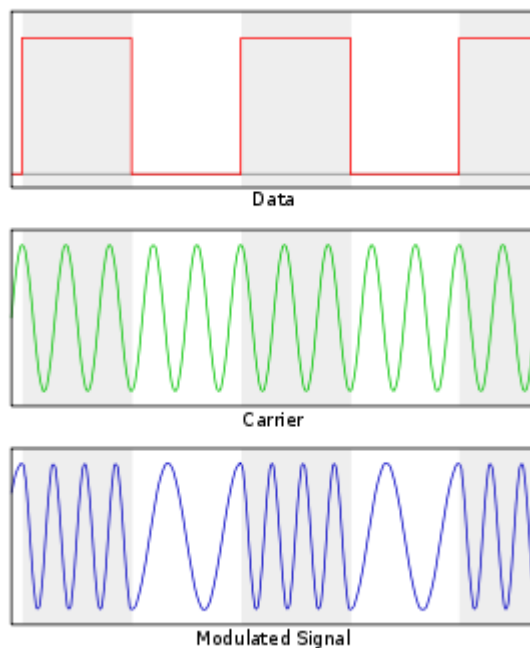
NMT jaettiin kahteen käytössä olleeseen taajuuteen. Niitä olivat NMT-450 ja NMT-900 jotka nimensä mukaisesti käyttivät 450 MHz ja 900 MHz taajuusalueita. Nykypäivänä kyseiset taajuusalueet on jo siirretty muihin tiedonsiirron tarpeisiin. NMT oli käytössä Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa. Näiden maiden välillä oli mahdollista käyttää roaming ominaisuutta eli verkkovierailua, jonka ansiosta puhelut esimerkiksi Tanskasta Suomeen olivat mahdollisia. (Penttinen 2006a, 14.)

NMT oli ensimmäinen täysin automaattinen solukkopuhelinverkko. Solun halkaisija NMT-verkossa oli 2 - 30 km. Puhelun aikana puhelin oli yhteydessä yhteen tukiasemaan kerrallaan, josta se ohjattiin joko toiseen NMT-puhelimeen tai yleiseen puhelinverkkoon, jos vastaanottajan laite oli lankapuhelin. NMT-puhelimen liikkua toisen tukiaseman piiristä toiselle vaihtoi se automaattisesti käyttämäänsä tukiasemaa. NMT-450 suoritti vaihdon 1,4 sekunnissa ja NMT-900 0,4 sekunnissa. Vaihto ei katkaissut puhelua mutta sulki puhekanavan siirron ajaksi. (Korhonen 1999.)

NMT käytti analogista taajuusmodulaatiota tiedonsiirtomenetelmänään puhekanavilla. Jokaiseen puhekanavaan varattiin oma taajuus, joka toimi kantoaaltona matkapuhelimeen tulevalle ja lähetetylle puheelle. Siirryttäessä solusta toiseen pitää puhekanava sulkea, jotta matkapuhelin pystyisi lähettämään FFSK signaalit (Fast Frequency Shift Keying) tukiasemille. FFSK on digitaalinen modulointimenetelmä,

jonka avulla matkapuhelin mittaa lähimpien solujen tukiasemat ja valitsee itselleen vapaan taajuuden puhekanavalleen. (Penttinen 2006b, 12.)

Kuvassa 3 nähdään miten FSK modulaatio toimii kun biteille tehdään taajuusmodulaatio. Kantosignaali näkyy kuvan keskellä vihreällä merkittynä. Bittien paikka eli punainen signaali vaikuttaa moduloidun eli sinisen signaalin taajuuteen. Kun bitti on ylhäällä, eli 1, taajuus on korkeampi. Bitin ollessa alhaalla, eli 0, taajuus on pienempi. FFSK on nopeampi versio FSK- tekniikasta.



Kuva 3. FSK modulaatio

Vuonna 2002 NMT-verkko suljettiin ja verkkotaajuudet luovutettiin uudempien järjestelmien käyttöön.

3.2 2G

Nykyisten matkapuhelinverkkojen perustana toimivat toisen sukupolven standardit, tekniset ratkaisut ja tukiasemajärjestelmistä luodut televerkot. Puheluiden laadun ja määrän kannalta merkittävin piirikytkentäinen tekniikka on GSM (Global System for Mobile) ja sen ympärille kehitetyt pakettikytkentäiset tekniikat, GPRS (General Packet Radio Service) sekä EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), jotka mahdollistivat yhteydet internetpalveluihin.

3.2.1 GSM

GSM toimii perustana toisen sukupolven langattomille puhelinverkkotekniikoille, jotka ovat täysin digitaalisia. NMT:ssä vain puhekanavan valinta oli digitalisoitu, radiosignaalien ollessa analogisia. Digitalisoinnin ansiosta verkossa pystyttiin siirtämään puheen lisäksi myös tekstiviestejä eli SMS-viestejä (Short Message Service) laitteelta toiselle. GSM mahdollisti verkkovierailut operaattorien kesken sekä yhteydet maasta toiseen automaattisesti.

Tiedonsiirto toimii TDMA (Time Division Multiple Access) ja FDMA (frequency division multiple access) tekniikoiden yhdistelmänä, jossa taajuuksien kanavat jaetaan FDMA-tekniikalla ja taajuuksilla kulkevat puhekanavat TDMA-tekniikalla kahdeksanbittisiin kehyksiin aikajajollisesti. GSM käyttää 200 kHz kanavaväliä, joista FDMA valitsee yhden TDMA:n puhekanavalle. Jokaisella taajuusalueella (taulukko 1) on yhden kanavan suuruinen suojaetäisyys taajuusalueen alussa ja lopussa. Tämän takia esimerkiksi ensimmäinen käytössä oleva downlink R-GSM 900-taajuus on 921,2 MHz. (Penttinen 2006a, 136.)

TAULUKKO 1. GSM -verkon taajuusalueet version mukaan (Penttinen 2006a, 136)

GSM-versio	Taajuuskaista	Uplink taajuus	Downlink taajuus
P-GSM 900	25 Mhz	890-915 Mhz	935-969 Mhz
E-GSM 900	10 Mhz	880-890 Mhz	925-935 Mhz
R-GSM 900	4 Mhz	876-880 Mhz	921-925 Mhz
GSM 1800	75 Mhz	1710-1785 Mhz	1805-1880 Mhz
GSM 1900	PCS 1900 -määrittelyn mukainen	riippuu alueesta	riippuu alueesta

3.2.2 GPRS

GPRS mahdollistaa pakettikytkentäisen tiedonsiirron, minkä ansiosta GSM-järjestelmään tuotiin datapalvelu, joka yhdistää käyttäjän internetpalveluihin. GPRS ei täten ole erillinen järjestelmä vaan osa GSM-järjestelmää, josta johtuen GPRS ja GSM jakavat samat radiorajapinnat keskenään. Ruuhka-aikoina GSM- ja GPRS -palvelut estyvät käyttäjiltä, kun käyttäjien maksimimäärä saavutetaan solussa. Oletuksena GPRS väistyy GSM yhteyksien tieltä tarvittaessa.

Tiedonsiirtonopeus vaihtelee neljän määritellyn kanavakoodausluokan mukaan. Yhteyden laadusta ja virheenkorjauksen tarpeesta riippuen luokkia vaihdetaan. Taulukossa 2 esitellään luokat sekä niiden koodinopeus, hyötykuorma ja tiedonsiirtonopeus. Luokka CS-4 käyttää koko kaistaa tiedonsiirtoon ja täten virheenkorjausta ei ole ollenkaan käytössä. Tästä johtuen CS-4 on todella altis virheille. CS-1 luokkaa käytetään aina pakettiohjaukskanaville, jotta ohjauksen varmuus säilyy. (Penttinen 2006a, 167.)

TAULUKKO 2. GPRS-kanavakoodausluokkien parametrejä (Penttinen 2006a, 167)

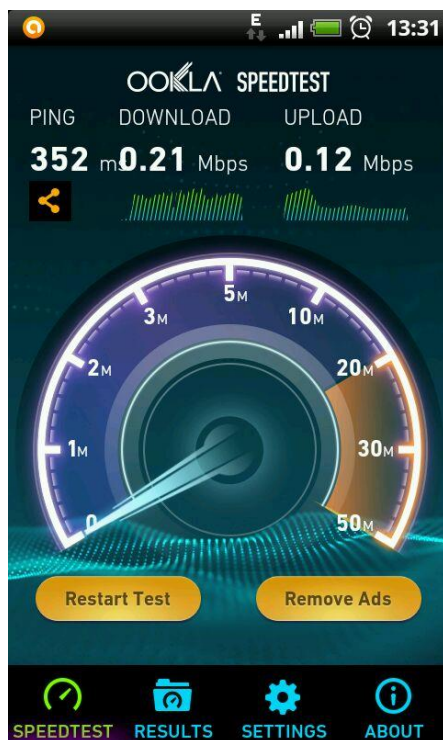
Luokka	Koodinopeus	Hyötykuorma	Datanopeus (kbit/s)
CS-1	0,5	181	9,05
CS-2	~0,66	268	13,44
CS-3	~0,75	312	15,6
CS-4	1	428	21,4

Tukiverkkojärjestelmään tuli tehdä pieniä lisäyksiä, jotta GPRS saatiin toimimaan GSM-järjestelmässä. Vaikka GPRS- ja GSM-päätelaitteet toimivatkin samoissa radiopinnan kanavissa tarvittiin GPRS-tekniikkaa varten uusia elementtejä, koska sen yhteydet ohjataan omaan runkoverkkoonsa.

3.2.3 EDGE

Ennen kolmatta sukupolvea saatiin GSM-järjestelmän tiedonsiirtonopeutta kasvatettua merkittävästi EDGE-tekniikalla, jonka käytännössä mahdollisti 8-PSK-

modulaatiomenetelmän (8-tasoinen Phase Shift Keying) kehitys. 8-PSK toimi yhteen alkuperäisen GSM:ään suunnitellun 0,3 GMSK-modulaatiomenetelmän (Gaussian Minimum Shift Keying) kanssa, jonka ansiosta molemmat menetelmät pystyvät toimimaan samoilla laitteilla. Käytännössä voidaan käyttää pelkkää 8-PSK-menetelmää, jos yhteys on laadultaan hyvä ja virheensietokyky on siedettävä. Laadun laskiessa tiedonsiirtonopeus laskee, sillä tarve virheenkorjaukselle kasvaa. Tällöin voidaan vaihtaa häiriösietokykyisempään 0,3 GMSK -menetelmään. Teoreettinen maksiminopeus on noin 400 kbit/s, mutta käytännössä nopeus jää puoleen siitä ja viive kasvaa yli 300 millisekuntiin. Kuvassa 4 näkyy HTC Desire HD puhelimella suoritettu internet yhteyden nopeusmittaus puhelimen ollessa EDGE-tilassa. Mittausohjelmistona toimii Speedtest-ohjelma.



Kuva 4. HTC Desire HD puhelimen EDGE-mittauksen tulos.

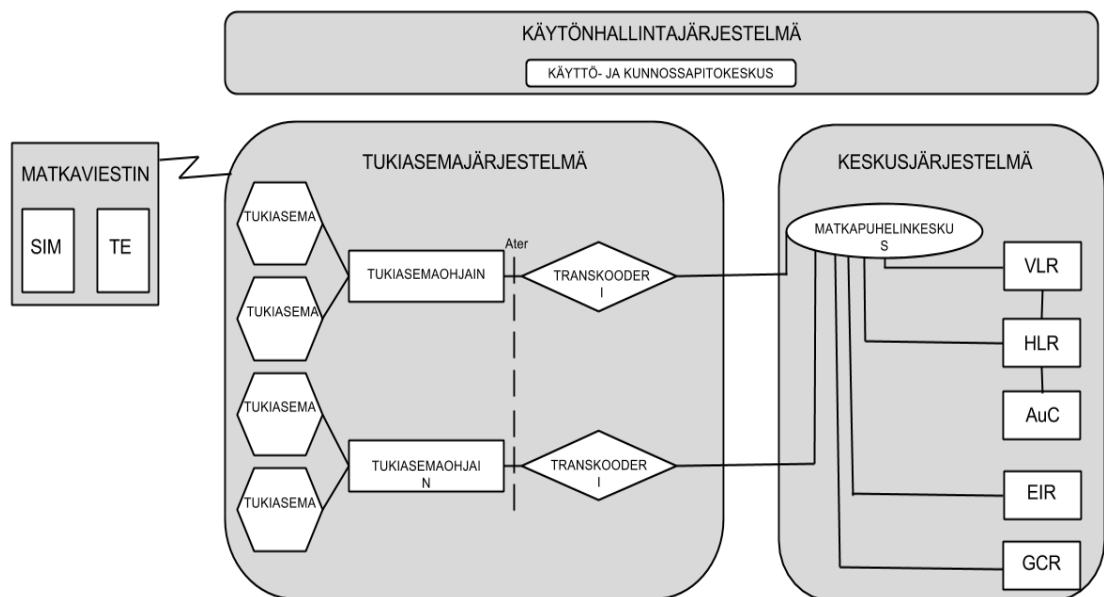
EDGE-tekniikkaa on kehitetty eteenpäin, jonka tuloksena on saavutettu yli 1 Mbit/s latausnopeuksiin 100 ms viiveellä. Tämä riittää sähköpostin ja tekstipohjaisien sovellusten käyttöön, mutta ei suurempia kaistanleveyttä tai viiveettömyyttä tarvitseviin sovelluksiin.

3.3 GSM-tukiasemajärjestelmä

GSM-palvelualue käsittää alueen, jolla GSM-yhteyttä voidaan hyödyntää. Tämä tarkoittaa sitä, että palvelualue koostuu kaikista niistä GSM-verkoista, joita voidaan käyttää verkkovierailussa. GSM-tukiasemajärjestelmä toimii perustana kolmannen ja neljännen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikoille.

GSM-verkon runkona toimii tukiasemajärjestelmä, joka koostuu tukiasemista BTS (Base Transceiver Station) ja tukiasemaohjaimista BSC (Base Station Controller). Järjestelmästä löytyy näiden lisäksi vielä nopeudensovituslaitteisto ja transkooderi TRAU (Transcoder / Rate Adapter). Nopeudensovituslaitteiston sijainti voi olla myös matkapuhelinkeskuksen laitetila. (Penttinen 2006a, 122.)

Kuvassa 5 on esitetty tukiasemajärjestelmän rakenne. Kuvan komponentit on selitetty seuraavissa kappaleissa.



KUVA 5. Tukiasemajärjestelmän rakenne.

3.3.1 Tukiasema

Tukiasema koostuu laitteistotilasta ja TRX-elementeistä (Transceiver).

Näitä elementtejä ovat:

- varmennukset teholähteille ja sähkönsyötölle
- yhdyssuodin (Combiner)
- tehojakaja
- antennikaapelit
- salauslaitteisto
- antennit
- mahdollinen masto mastovahvistimiseen.

Yksi TRX välittää liikennettä yhdellä taajuudella. Käyttämällä synteettistä taajuushyppelyä voidaan kuitenkin hyödyntää kullakin ajanhetkellä eri taajuusalueita. GSM-järjestelmän kanavavälit on jaettu kahdeksaan aikaväliin TS (Time Slot). Yhdellä aikavälillä voi taten olla enintään kahdeksan (8) piirikytkentäistä käyttäjää. Puolen nopeuden puhekoodekit HR (Half Rate) mahdollistavat tuon määrän tuplaamisen kuuteentoista (16). Kyseisessä tekniikassa kaksi puhekäyttäjää jakaa saman aikavälin vuorottelemalla sen käytöstä. Puolen nopeuden koodekkia käytettäessä äänenlaatu heikkenee, sillä käyttäjien määrän kaksinkertaistuessa tiedonsiirtonopeus puolittuu. Päätelaitte vastaanottaa bittejä siis hitaammin kuin normaalitilanteessa, jossa käyttäjiä on vain kahdeksan. (Penttinen 2006a, 122.)

Pakettikytkentäisten GPRS- ja EGPRS-käyttäjien kohdalla voidaan käyttää multipleksausta eli vuorotella useita käyttäjiä yhdellä aikavälillä. Pakettikytkentäisiä käyttäjiä voidaan siten mahduttaa samalle aikavälille huomattavasti enemmän kun piirikytkentäisiä käyttäjiä. Osa radiorajapinnan resursseista kuluu merkinantoon, joten kaikkia lähetin-vastaanottimen aikavälejä ei saada puhe- tai datasiirron käyttöön. (Penttinen 2006a, 123)

3.3.2 Tukiasemaohjain

Tukiasemaohjaimen pääasiallinen tehtävä on kontrolloida oman alueensa radioresursseja RRM (Radio Resource Management). Matkapuhelinkeskus MSC kytkee puhelut oikean tukiasemaohjaimen kautta päätelaitteelle.

Yksi tukiasemaohjain hallitsee yleensä useampaa tukiasemaa. Tukiasemien ryhmiä kutsutaan sijaintialueeksi. Sijaintialue ei välttämättä rajoitu yhteen tukiasemaohjaimen kontrolloimaan alueeseen, vaan siihen saattaa määrätyksestä riippuen kuulua osia muistakin tukiaseman alaisuudessa toimivista alueista. Matkapuhelimen siirtyessä sijaintialueelta toiselle, tekee se ilmoituksen tukiasemaohjaimelle. Puhelimen uusi sijainti ilmoitetaan vierailijarekisteriin, jonka jälkeen verkko osaa reitittää puhelut oikealle sijaintialueelle. (Penttinen 2006a, 127.) Rekistereistä kerrotaan lisätietoa kappaleessa 3.3.5.

Tukiasemaohjain tietää jokaisesta alueensa solusta käytössä ja vapaana olevat kanavat sekä yhteyksien laatutasot. Se selvittää puhelutilassa olevien puhelimien laatutasot niiden lähettämien tietojen perusteella. Tukiasemaohjaimen tehtäviin kuuluu myös kanavanvaihto esimerkiksi kentänvoimakkuuden ja yhteyden laatutason pohjalta. Ohjain valvoo yhteyskohtaisia resursseja ja tekee päätöksen kanavanvaihdesta mittaustulosten perusteella, joita se kerää tukiasemilta ja matkaviestimiltä. Radiopinnan parametrit ovat myös tukiasemaohjaimen hallinnassa. Parametreihin kuuluu tehonsäätö, epäjatkuva lähetys ja vastaanotto, solujen sijaintialueiden määritykset ja liikennekanavien taajuushyppelysekvenssit. (Penttinen 2006a, 127.)

Tukiasemaohjain määrittää jokaiselle yhteydelle vapaan PCM-aikavälin (Pulse Code Modulation) tai alimultipleksatun, yleensä 16kbit/s aikavälin. A-rajapinnan eli tukiasemaohjaimen ja matkapuhelinkeskuksen välisen rajapinnan valitsee yleensä matkapuhelinkeskus, lukuun ottamatta esimerkiksi joitakin virhetilanteita, jolloin tukiasemaohjain saattaa itse tiputtaa kanavan. (Penttinen 2006a, 127.)

3.3.3 Transkooderi

Transkooderi on osa tukiasemajärjestelmää. Sen tehtäviä ovat puheen koodaus ja dekodeaus sekä datan nopeussovitus GSM-verkon ja muiden verkkojen välillä. Esimerkiksi GPRS-verkossa transkooderia vastaava laite on paketinhallintayksikkö PCU (Packet Control Unit), joka seuloo GPRS-datapaketit GSM-lähetteen seasta ja ohjaa ne omaan GPRS-runkoverkkoon. (Penttinen 2006a, 128.)

Yleensä transkooderi sijaitsee joko tukiasemaohjaimen tai matkapuhelinkeskuksen laitetilassa. GSM-verkon siirtokapasiteetti voidaan hyödyntää parhaiten silloin kun transkooderi on sijoitettu mahdollisimman lähelle matkapuhelinkeskusta. Tällöin normaalit puhekehukset saadaan mahdutettua 16 kbit/s aikaväleihin ennen transkooderia. Kiinteä puhelinverkko käyttää 64 kbit/s kehystä. Jos transkooderi asetetaan matkapuhelinkeskuksen ja tukiasemaohjaimen välille, syntyy transkooderin ja tukiasemaohjaimen välille Ater niminen rajapinta. (Penttinen 2006a, 128.)

3.3.4 Matkapuhelinkekus

Matkapuhelinkeskus MSC yhdessä siihen kuuluviin rekistereineen muodostaa keskusjärjestelmän NNS (Network Switching Sub-system). Keskusjärjestelmä kytkee GSM-puhelinten ja GSM-verkon ulkopuolisten puhelinten väliset piirikytkentäiset puhe- ja datayhteydet. Myös GSM-verkon sisäiset puhelut kytkeytyvät keskusjärjestelmän kautta. Yhteys reitittyy aina vähintään yhden matkapuhelinkeskuksen kautta huolimatta siitä, olivatko päätelaitteet samassa solussa vai ei. (Penttinen 2006a, 129.)

Matkapuhelinkeskuksen tärkeimpänä tehtävänä on kytkeä, ylläpitää ja purkaa puhelut omalla alueellaan sekä kauttakulkukeskuksen tapauksissa yhdistää puhelu seuraavalle matkapuhelinkeskukselle. Kauttakulkukeskus GMSC (Gateway MSC) on normaali matkapuhelinkeskus, joka toimii puhelun välittäjänä kun vastaanottava puhelin ei löydy sen alueelta. (Penttinen 2006a, 129.)

Matkapuhelinkeskus pitää kirjaa siitä missä päätelaitteet liikkuvat. Tätä kutsutaan liikkuvuuden hallinnaksi MM (Mobility Management).

Yleinen vaatimus matkapuhelinkeskukselle on kyky läpikytkeä 64 kbit/s aikavälejä. Toiminta ulkopuolisten verkkojen kanssa yhteiskanavan merkinannolla YKM on oleellinen osa matkapuhelinkeskuksen vaatimuksia. YKM on kansainvälisesti yhteensopiva järjestelmä, jonka ansiosta GSM-verkon ja muiden verkkojen välisiä yhteyksiä on mahdollista ohjata. Yhteensovitustoiminto IWF (Interworking Function) taas sisältää kyvyn käsitellä piirikytkentäisillä datayhteyksillä käytettäviä laitteistoja kuten datamodeemeja ja ISDN-nopeussovittimia. (Penttinen 2006a, 129 - 130.)

3.3.5 Rekisterit

Rekisterit jaetaan kotirekisteriin HLR (Home Location Register), vierailijarekisteriin VLR (Visitor Location Register), laiterekisteriin EIR (Equipment Identity Register) ja ryhmäpuhelurekisteriin GCR (Group Call Register). Rekisterien kanssa toimii myös tunnistuskeskus AuC (Authentication Center).

Kotirekisteristä HLR löytyy tilaaja- ja laskutustiedot sekä numeroon mahdollisesti liittyvät lisäpalvelut. Osa tiedoista on pysyviä ja osa muuttuvia. Pysyviä tietoja ovat kansainvälinen ISDN-numero, kansainvälinen viestintilaajan tunnus, GPRS-tilaajien IP-osoitteet ja käyttäjäprofiilit, tilaajan salausparametrit sekä liittymätyyppi. Muuttuvia tietoja taas ovat tiedot, jotka liittyvät tavoitettavuuteen eli tiedot tilaajan kytkeytymisestä verkkoon, reititystiedot, joista selviää millä vierailijarekisterin alueella tilaaja kulloinkin on sekä käyttäjän tekemät puhelunsiirrot ja muut palvelut. Kotirekisteri pitää siis kirjata kaikista niistä tiedoista, joita muut verkot tarvitsevat kun puhelin siirtyy uudelle alueelle. (Penttinen 2006a, 130.)

Vierailijarekisterin VLR tehtävä on mahdollistaa matkapuhelimen käyttö muilla alueilla kuin jossa sen kotirekisteri sijaitsee. Matkapuhelimen siirtyessä uudelle alueelle vierailijarekisteri pyytää tilaajatiedot kotirekisteriltä. Tiedot säilytetään vierailijarekisterissä niin kauan kunnes matkapuhelin siirtyy verkossa uudelle matkapuhelinkeskus/vierailijarekisteri alueelle. Aluesiirron jälkeen tiedot poistetaan vierailijarekisteristä ja siirretään uuteen vierailijarekisteriin, oli se sitten kotiverkossa tai vierailtavassa verkossa. Vierailijarekisteri sisältää kotirekisteriltä saamansa matkaviestitilaajan kansainvälisen ISDN- numeron ja viestintilaajan tunnuksen sekä

vaellusnumeron ja sijaintitiedot. Näiden lisäksi siihen sisältyy vielä palvelumäärittelyksiä ja salaussparametrit. (Penttinen 2006a, 131.)

Operaattorin **laiterekisteriin EIR** voi olla tallennettuna matkapuhelimen yksilöllinen laitetunnus. Laitetunnus löytyy jokaisesta matkapuhelimesta. Laiterekisteri on merkinantoyhteydessä matkapuhelinkeskukseen, minkä ansiosta verkko voi halutessaan tarkastaa puhelimen tiedot ja tarpeen mukaan estää sen käytön. Laiterekisteristä on olemassa myös kansainvälinen versio CEIR (Central EIR). Laitetunnus kulkee nimellä IMEI (International Mobile Equipment Identity) ja sen avulla käytön esto voidaan toteuttaa niin GSM/GPRS-verkoissa. (Penttinen 2006a, 131.)

Ryhmäpuhelurekisteri GCR on kehittyneemmän GSM 2+ vaiheen ryhmäpuhelut mahdollistava rekisteri. Ryhmäpuheluista käytetään lyhennettä GCR (Group Call Register.) (Penttinen 2006a, 131.)

3.3.6 Tunnistuskeskus

Tunnistuskeskus AuC säilyttää tilaajan salaisia tunnistetietoja, jotka määrittävät tilaajalle sen liittyessä verkkoon. Puhelua muodostettaessa verrataan tunnistuskeskuksen vierailijarekisterille antamia tunnistetietoja tilaajalaitteen lähettämiin numeroihin. Puhelu estetään jos vertailun perusteella todetaan, että soittajalla ei ole käyttöoikeutta verkkoon. Laiterekisteri ja tunnistuskeskus eivät ole verkon toiminnan kannalta välttämättömiä mutta ovat yleisesti käytössä, jotta verkon resursseja voidaan kontrolloida tehokkaammin. (Penttinen 2006a, 131.)

3.4 3G

Kolmannen sukupolven teknologian taustalla oli tarve yhdenmukaistaa langattomien tietoliikenneyhteyksien tekniikoita. Kansainvälisesti oli käytössä useita erilaisia toisen sukupolven ratkaisuja, joiden keskinäinen yhteensopivuus oli vajavainen. Toinen syy oli tarve käsitellä suurempia datamääriä ja kyky siirtää verkossa muutakin kuin pelkkää puhetta. 3G verkkoja pidetäänkin ensimmäisinä niin sanottuina multimedieverkkoina.

Kuten toisen sukupolven tekniikoissa myös 3G:stä syntyi useampia ratkaisumalleja. Yleisessä käytössä on UMTS-verkkoratkaisu, joskin CDMA-2000 järjestelmällä on kannatusta Yhdysvalloissa ja joissakin Aasian maissa.

UMTS-verkon tavoitteiksi asetettiin muun muassa:

- 1) Äänenlaatu samalle tasolle kiinteän verkon kanssa.
- 2) Datanopeus nopeasti liikkuvassa kulkuvälineessä esimerkiksi autossa tulisi olla 144 kbit/s.
- 3) Paikallaan olevalle päätelaitteelle siirtonopeudeksi 384 kbit/s.
- 4) Paikallaan olevalle kiinteälle laitteelle 2 Mbit/s siirtonopeus pikosoluissa pakettikytkentäisellä liikenteellä.
- 5) Tuki sekä piiri- että pakettikytkentäiselle liikenteelle.
- 6) Radiokaistan mahdollisimman tehokas käyttö.

(Granlund 2001, 202.)

3.4.1 UMTS-verkon hierarkia

GSM-verkosta poiketen UMTS-verkossa kaikki solut eivät ole yhdenvertaisia vaan solut jakaantuvat useampiin tasoihin ja hierarkiaan.

Alin taso on pikosolu, joka kattaa hyvin pienen alueen kuten esimerkiksi rakennuksen tai sen osan. Tässä mielessä pikosolu on verrattavissa vaikkapa langattomaan lähiverkkoon. Seuraava taso on mikrosolu, jonka peittoalue on karkeasti muutaman korttelin kokoinen. Makrosolu voi olla kooltaan jo tuhansia neliökilometrejä, jotka ovat verrattavissa GSM-solun kokoon. Käytännössä makrosolut eivät kuitenkaan ole niin suuria, sillä käyttäjien määrä rajoittaa solun peittoaluetta. Laajimpana osana on vielä globaali satelliittijärjestelmä, jolla pyritään tarjoamaan UMTS-verkon täydellinen kattavuus etenkin harvaan asutuille seuduille. Satelliittijärjestelmän ongelmana on kuitenkin sen kova hinta. UMTS-verkko ei tänä päivänäkään kata kaikkia haja-asutusalueita. Verkon suurin ongelma onkin tarve melko tiheälle tukiasemaverkolle sillä 1,8 GHz taajuudella kulkeva radioliikenne ei kykene nopeisiin yhteyksiin, jos etäisyys tukiaseman ja päätelaitteen välillä kasvaa. (Granlund 2001, 204.)

UMTS-verkon tarjoamien palveluiden kattavaan tarjoamiseen käytetään VHE (Virtual Home Network) ominaisuutta. VHE antaa käyttäjälle mahdollisuuden kuvata oma toimintaympäristönsä profiilina, mihin sisältyy halutut palvelut. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää myös vierailtaessa oman kotiverkon ulkopuolella. Siirryttäessä vierailijaverkkoon VHE emuloi puuttuvia palveluita siten, että muutos ei näy käyttäjälle. Palveluiden käyttö voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on päätelaitteeseen ladattava tehtävään sopiva ohjelmisto, joka suorittaa halutun toiminnon. Toinen tapa on Remote Service Execution, joka suorittaa toiminnon palvelun tarjoajan tai kotioperaattorin ympäristössä huolimatta siitä, että päätelaite sijaitsee vierailijaverkossa. Palvelu siis toteutetaan nimensä mukaisesti etänä. (Granlund 2001, 207.)

UMTS-laatuparametreillä QoS (Quality of Service) tarkoitetaan sellaisten määritysten kokoelmaa, joilla tyydytetään käyttäjän tarpeet. UMTS-verkossa nämä laatuparametrit ovat sellaisia joiden laadun mittaus suoritetaan käyttäjän ja verkon rajapinnassa. Tämä tarkoittaa siis käyttäjälle näkyvien yhteyksien toimivuutta. Tarkasteltaessa lautupalveluja puhtaasti tiedonsiirron näkökulmasta voidaan ne jakaa seuraaviin liikennöintimuotoihin:

- 1) Tosiakainen toiminta eli datan jatkuva synkroninen virta, jolloin sovellukset eivät siedä suuria vaihteluja tiedon saapumisajoissa. Esimerkiksi reaaliaikaisesti toteutettu äänen tai kuvan siirto.
- 2) Tavuvirta, joka on edellistä lievempi vaihtoehto. Sisään tulevalla datalla on kyllä aikariippuvuus, mutta saapumisajan vaihtelut voidaan hoitaa puskuroinnilla (eng. buffering). Esimerkkinä äänen siirto internet-verkossa.
- 3) Vuorovaikutteinen toiminta, johon ei sisälly aikatazon sidonnaisuutta. Kyseessä tyypillinen kahden osapuolen välinen viestien vaihto kuten asiakas/palvelin sovellukset ja internet-selailu.
- 4) Taustasiirto, johon ei myöskään liity aikavaatimuksia, eikä tiedon perille saapumiselle ole asetettu takarajaa. Taustamuotoinen siirto on yleensä muun toiminnan kanssa rinnakkain tapahtuvaa toimintaa ja tiedon vastaanottajalle ei-reaaliaikaista. Esimerkkeinä sähköpostit ja lyhytsanomapalvelut.

Edellä mainitut ryhmät asettavat omat vaatimuksensa verkon suorituskyvylle ja niiden perusteella voidaan muodostaa tekniset laatuparametrit. Ryhmät siis toimivat eräänlaisina suuntaviivoina tarkemmin määritellyille parametreille. (Granlund 2001, 417.)

UMTS-radiotaajuudet on jaettu väleille 1900 - 1980 MHz ja 2110 - 2170 MHz. Suomen viestintävirasto vastaa vapaiden taajuusalueiden myöntämisestä kuhunkin käyttötarkoitukseen. (Viestintävirasto 2013.)

Taajuudet jakaantuvat eri tekniikoille seuraavasti:

- 1900 - 1920 MHz UMTS TDD-tekniikka
- 1920 - 1980 MHz UMTS FDD-tekniikka ylävirtaan
- 2010 - 2020 MHz lisensseistä vapaat TDD-sovellukset
- 2020 - 2025 MHz UMTS TDD-tekniikka
- 2110 - 2170 MHz UMTS FDD-tekniikka ylävirtaan.

(Granlund 2001, 209.)

UMTS-verkko sallii sekä FDD-(Frequency Division Duplex) että TDD-tekniikoiden (Time Division Duplex) käytön radiotiellä.

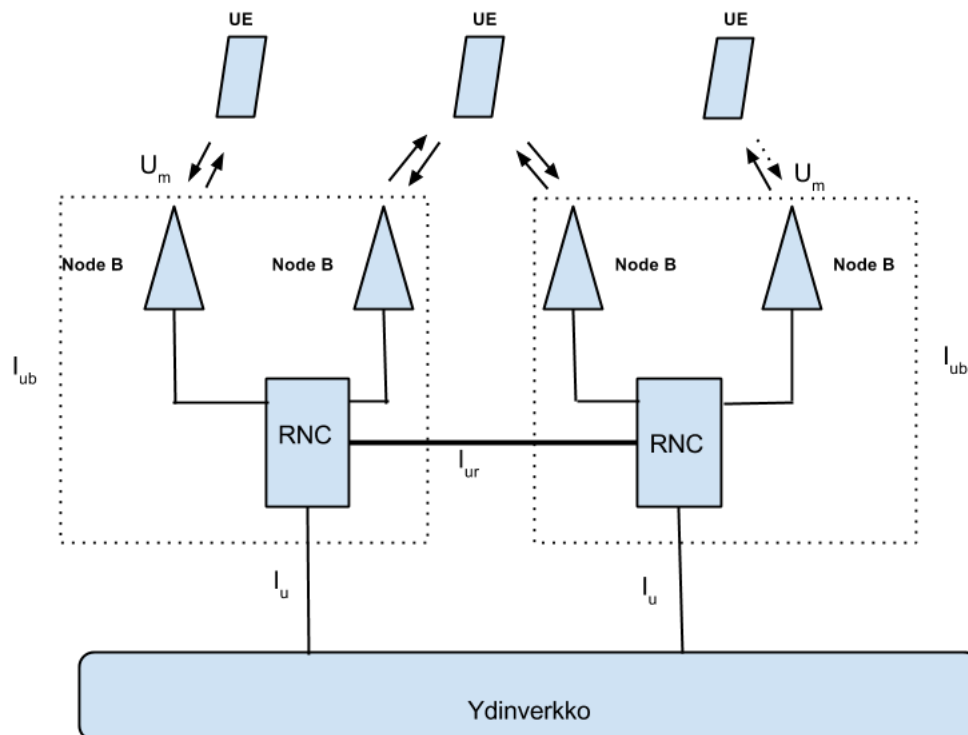
FDD-tekniikassa ylä- ja alavirtaan varataan omat taajuusalueet, joita tukiasemat ja päätelaitteet voivat käyttää. Kyseinen järjestely mahdollistaa noin 250 samanaikaisen puhekanavan käytön. (Granlund 2001, 213.)

TDD-tekniikassa tiedonsiirto tapahtuu käyttäen samaa taajuusaluetta molempiin suuntiin, sekä ylävirtaan että alavirtaan. Tällä tekniikalla voidaan toteuttaa FDD-tekniikkaan verrattuna vähemmän yhteyksiä, noin 120 yhteyttä, mutta toisaalta se vaatii vain puolet kaistanleveydestä. (Granlund 2001, 215.)

Siirtokanavat ovat kanavia, jotka kuljettavat dataa ja niitä kuvataan fyysisille kanaville. Siirtokanavat ovat joko omistettuja tai yleisiä. UMTS-verkon radorajapinnalla on yksi omistettu kanava DHC (Dedicated Channel). Sen tehtävänä on välittää dataa ja merkinantoa käyttäjän ja verkon välillä. TDD- ja FDD-tekniikoille fyysiset kanavat muodostuvat niiden TDMA-kehysten perusteella. (Granlund 2001, 212.)

3.4.2 UMTS-verkon rakenne

UMTS-verkon radio-osasta käytetään nimitystä UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), joka on pääosin toteutettu GSM-verkon ydinverkon päälle. Tähän ydinverkkoon kytkeytyvät UTRAN tukiasema-alijärjestelmää vastaava RNS (Radio Network Subsystem) I_u rajapinnan kautta. Kutakin alijärjestelmää ohjaa tukiasemaohjain eli RNC (Radio Network Controller), johon taas I_{ub} rajapinnan kautta kytketään tukiasemat (Node B). Tukiaseman ja päätelaitteen välillä on vielä rajapinta U_m . Päätelaitteesta joka voi olla vaikkapa työasema tai puhelin, käytetään lyhennettä UE (User Equipment). (Granlund 2001, 210.)



KUVA 6. UTRAN verkkorakenne

3.4.3 WCDMA-tekniikka

WCDMA (Wideband CDMA) on UMTS-radorajapinnalla (U_m) käytettävä tiedonsiirtotekniikka. WCDMA on yksi CDMA-tekniikan kategorioista ja sen määrittäminen on vähintään 5 MHz kaistan käyttö.

Toisen sukupolven tekniikoista poiketen WCDMA-tekniikalla voidaan saavuttaa:

- Teoreettisesti 2 Mbit/s nopeus, mutta käytännössä enintään 384 kbit/s.
- Joustava tiedonsiirtokapasiteetti
- Parannettu taajuuksien uudelleenkäyttö, koska kaikki saman operaattorin solut käyttävät samoja taajuuksia.

WCDMA-tekniikka ei varsinaisesti paranna signaalin laatua, mutta laajakaistaisen signaalin hyöty syntyy paremmasta taajuuksien uusiokäytöstä ja interferenssin keskiarvoistumisesta. (Granlund 2001, 211.)

CDMA-tekniikkaan pohjautuvissa järjestelmissä kaikki osapuolet lähettävät sanomansa samalla taajuudella, jolloin sanomien sisällöt sekoittuvat siirtotiellä. Vastaanottaja erottelee eri kanavat lähettäjien käyttämien lastusekvenssien perusteella. Niin sanottu near/far ongelma syntyy silloin kun yksi lähetin tuottaa muita voimakkaamman signaalin peittäen muiden asemien lähetteet alleen. Tämä ongelma korjataan tehonsäädöllä siten, että lähettimen tehoksi säädetään sellainen arvo jolla vastaanottajan tehoksi saadaan noin 1 dB. Tehonsäätö tapahtuu 1500 kertaa sekunnissa ja voidaan toteuttaa kahdella eri tekniikalla:

- Open Loop Power Control (OL PC), perustuu päätelaitteen tekemiin mittauksiin, joiden perusteella saadaan karkea arvio käytettävästä lähetystehosta.
- Closed Loop Power Control (CL PC), jossa tukiasema vertailee yksittäisten asemien lähetteiden **SIR-arvoa (Signal to Interference)** käyttäjäkohtaiseen kynnsarvoon. Vertailun perusteella päätelaitetta komennetaan säätämään tehojaan haluttuun arvoon. CL PC voidaan toteuttaa molempiin suuntiin. CL PC- algoritmin kynnsarvoja säädetään Outer Loop Power Control-algoritmillä. (Granlund 2001, 212.)

3.4.4 HSPA (High Speed Packet Access)

HSPA tekniikat, joita kutsutaan usein markkinointimelessä 3,5G tekniikoiksi, toivat päivityksen kolmannen sukupolven verkkoihin. Niiden myötä UMTS-verkon tiedonsiirtokyky parani oleellisesti sekä ylä- että alavirtaan. Aiemmin datayhteyksien hitaus on ollut suurin yksittäinen syy siihen, että päätelaitteiden data sovellusten käyttö on ollut melko pientä. Vasta HSPA-tekniikoiden käyttöönotto tarjosi sellaisia nopeuksia, että uusien älypuhelinien ja niiden tarjoamien sovellusten hyödyntäminen oli käyttäjälle mielekästä. HSPA:n mukana radiotielle tuli sekä uusia kuljetuskanavia että uusia fyysisiä kanavia. (FiCom/Nora Elers 2014.)

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)

HSDPA on tekniikka, jonka pääasiallinen tarkoitus on nostaa nopeuksia alavirtaan eli liikenne tukiasemalta päätelaitteelle. Teoreettinen maksiminopeus on 3,6 Mbit/s.

HSDPA nimellinen suorituskyky riippuu koodauksesta, moduloinnista ja 2 millisekunnin aikavälillä käytetyistä rinnakkaisista kanavista. Luokituksesta riippuen HSDPA käyttää modulaationa joko QPSK modulaatiota tai QPSK / 16-QAM modulaatioyhdistelmää. Siirtokanavanaan HSDPA käyttää HS-DSCH kanavaa (High Speed - Downlink Shared Channel). (Granlund 2007, 431.)

Taulukossa 3 on esitetty teoreettiset HSDPA siirtonopeudet kategorioiden mukaan.

TAULUKKO 3. HSDPA kategoriat. (Granlund 2007, 432.)

HS-DSCH- luokka	SF-16 kanavien lukumäärä	TTI-väli (ms)	Modulointi	Huippunopeus Mbit/s
Cat 1	5	3	QPSK & 16-QAM	1,2
Cat 2	5	3	QPSK & 16-QAM	1,2
Cat 3	5	2	QPSK & 16-QAM	1,8
Cat 4	5	2	QPSK & 16-QAM	1,8
Cat 5	5	1	QPSK & 16-QAM	3,6
Cat 6	5	1	QPSK & 16-QAM	3,6
Cat 7	10	1	QPSK & 16-QAM	7,3
Cat 8	10	1	QPSK & 16-QAM	7,3
Cat 9	15	1	QPSK & 16-QAM	10,2
Cat 10	15	1	QPSK & 16-QAM	14,4
Cat 11	5	2	QPSK	0,9
Cat 12	5	1	QPSK	1,8

Taulukossa sarake SF-16 tarkoittaa rinnakkaisten kanavien määrää jotka levitetään SF-16 hajautusavaimella. Jokaisessa 2 ms aikavälissä voidaan käyttää 15 rinnakkaista kanavaa. Tästä johtuen yksi aikaväli voi kuljettaa joko 15:n eri käyttäjän dataa tai yhden käyttäjän dataa jaettuna 15 eri hajautusavaimelle. Tämä mahdollistaa sen, että olosuhteiden salliessa käyttäjä pystyy hyödyntämään koko siirtotien kapasiteetin.

TTI -väli (Transmission Time Interval) on aikaväli, jonka ajaksi käyttäjä varaa kanavointikoodin SF-16 käyttöönsä.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)

HSUPA on tekniikka jonka avulla 3G-laitteen lähetyksenopeus (uplink) kasvaa ja lähetyksenlatenssi pienenee. Nopeutus on saatu aikaan samankaltaisilla ratkaisuilla kuin joita HSDPA käyttää alavirtaan. Näitä ratkaisuja ovat ensisijaisesti parempi modulaatio ja hukkuneen paketin nopeampi uudelleenlähetykset. Tämä mahdollistaa muun muassa interaktiivisten pelien pelaamisen tai muiden sellaisten sovellusten hyödyntämisen, jotka vaativat datan ripeää lähettämistä myös ylävirtaan. Jotta päätelaite voi hyödyntää näitä ominaisuuksia, tulee myös tukiasemalla olla niille määritelty tuki. (3GPP. 2014a.)

Kuten HSDPA-tekniikassa myös HSUPA:ssa tietoliikenteen hallinta on tukiaseman tehtävä. Kun päätelaite (UE, User Equipment) kirjautuu verkkoon, se saa itselleen hajautusavaimen perustuvan omistetun datakanavan, jonka avulla se liikennöi tukiasemalle. Tästä johtuen ylävirran tietoliikenne ei tarvitse erillistä kanavanvarausmenettelyä, vaan yhteys on jatkuvasti käytettävissä. Tukiaseman tehtäväksi jää päätelaitteen tehonsäätö ja niin edelleen siirtokapasiteetin jakaminen. Tukiasemalla on kaksi kanavaa, joita se käyttää tehonsäätöön. E-AGCH-kanava (Enhanced - Absolute Grant Channel) komentoaa päätelaitteet käyttämään määrättyä tehoa ja E-RGCH -kanava (Enhanced - Relative Grant Channel) voi käskä päätelaitetta suorittamaan suhteellista muutosta lähetystehoon. (Granlund 2007, 433.)

Kaikilla päätelaitteilla on tiedossaan maksiminopeus, jolla ne voivat lähettää. Jos enimmäisnopeuden käyttö on vähäistä, päätelaitteiden määrä solussa voi kasvaa tai solun kokonaiskuorma ylävirtaan kasvaa. Tämä saadaan aikaan siten, että tukiasema alentaa solussa olevien päätelaitteiden lähetystehoja. On tärkeää huomata, että

päätelaitteiden lähetystehon tulee aina olla tukiaseman antaman rajan alapuolella. Ilman noudatettua ylärajaa voi syntyä tilanne, jossa päätelaitteet nostaisivat tehojaan liian korkealle saadakseen oman signaalinsa kuuluviin. Tämä johtaisi lopulta solun läpimenon romahtamiseen. Päätelaitteen tulee siis sovittaa lähetteen ominaisuudet kuten koodaus ja hajautus aina vallitsevan tilanteen mukaan. (Granlund 2007, 433.)

Vaikka HSUPA käyttää päätelaitteelle omistettuja kanavia datan siirtoon, joutuu se siitä huolimatta suorittamaan resurssien varausta ennen datan siirtoa verkon suuntaan. Seuraavassa kuvassa on esitetty varaustoimenpide. (Granlund 2007, 434.)

Taulukossa 4 on esitetty HSUPA:n suorituskyvyn arvoja. Siirtonopeuden osalta kyseessä on tekniikan tarjoama suurin mahdollinen nopeus eikä todellinen siirtonopeus.

TAULUKKO 4. HSUPA kategoriat. (Granlund 2007, 436.)

E-DCH luokka	E-DCH		Bitit/jakso TTI = 10	Bitit/jakso TTI = 2	Siirtonopeu s Mbit/s
	hajautuskoodien lkm	TTI ms			
Cat 1	1	10	7296	-	0,76
Cat 2	2	10 ja 2	14592	2919	1,46
Cat 3	2	10	14592	-	1,46
Cat 4	2	10 ja 2	20000	5837	2,92
Cat 5	2	10	20000	-	2,00
Cat 6	4	10 ja 2	20000	11520	5,76

Uusien tekniikoiden ja sovellusten kuten VoIP -puheluiden (Voice over IP) ja reaaliaikaisten pelien myötä siirtonopeudelta ylävirtaan vaaditaan yhä enemmän. Reaaliaikaisuutta vaativat sovellukset eivät salli suuria viiveitä tiedonsiirtoväylillään.

HSPA Evolved / HSPA+

HSPA:n seuraava askel oli niin sanottu Evolved HSPA tai HSPA+. Se parantaa siirtonopeuksia huomattavasti sekä ylä- että alavirtaan. Parannukset on toteutettu kehittämällä modulaatiota ja ottamalla käyttöön MIMO (Multiple-input and multiple-output) antenniratkaisut. Modulaatio ylävirtaan toteutetaan 16-QAM modulaatiolla ja

alavirtaan 64-QAM modulaatiolla. MIMO-antennitekniikassa käytetään useampaa antennivastaanotinta ja lähetintä tiedonsiirtoon. Näitä tekniikoita hyödyntämällä teoreettiset nopeudet saadaan jopa 21 Mbit/s alavirtaan (DL) ja 11 Mbit/s ylävirtaan (UL). (3GPP 2014a.)

3.5 4G (LTE)

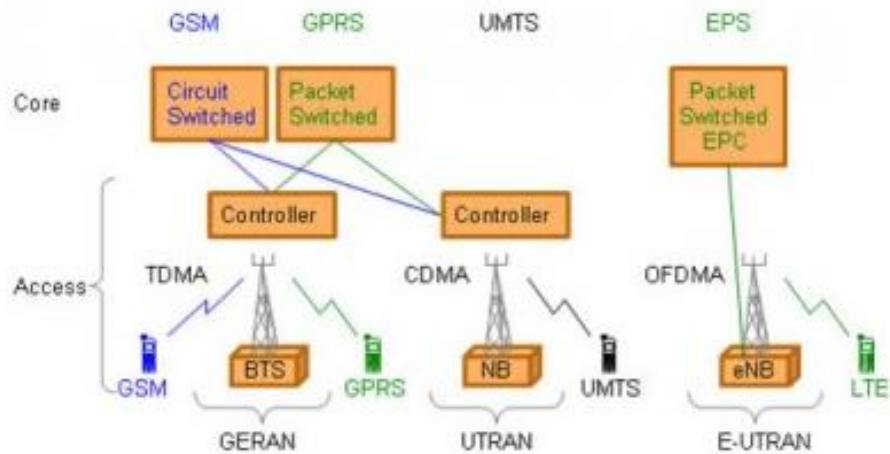
Neljännän sukupolven tekniikan siirtymävaihetta edustaa LTE-tekniikat (Long Term Evolution), joita kutsutaan myös 4G nimellä operaattorien toimesta vaikka LTE ei täytä 3GPP:n määrittelemiä standardeja 4G:lle. LTE mahdollistaa nopeat langattomat yhteydet, jotka pystyvät kilpailemaan langallisten yhteyksien kanssa korkeilla tiedonsiirtonopeuksilla ja pienillä viiveajoilla.

3.5.1 Verkon rakenne

LTE tukee taajuusjakoista FDD-tekniikkaa ja aikajakoista TDD-tekniikkaa, joiden avulla downlinkit ja uplinkit voidaan jakaa eri taajuusalueille sekä aikaväleille molempiin suuntiin. Duplex-tekniikoiden avulla mahdollistuu useiden kaistanleveyksien käyttö (1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ja 20 MHz), mikä mahdollistaa monipuolisemman solusuunnittelun verrattuna WCDMA:n 5 Mhz kaistanleveyteen. (Motorola 2007.)

Poistamalla piirikytkentäisyyden ja tukiasemaohjaimet LTE yksinkertaistaa tukiasemaverkon rakennetta. Verkon pohja rakentuu eNodeB-tukiasemiin (Evolved Node B) ja täysin IP-pohjaiseen EPC:hen (Evolved Packet Core), johon eNodeB:t ovat yhteydessä. Kun päätelaitteet ottavat yhteyden LTE-verkkoon, niille annetaan IP-osoite käyttöön ja osoite otetaan pois laitteen poistuessa verkosta. IPv6:n ansiosta verkkoon yhdistyneille laitteille voidaan antaa paljon vapaammin IP-osoitteita eikä aliverkotusta tarvitse tehdä niin suuressa määrin kuin IPv4:n kanssa. Tämän verkkomallin nimi on E-UTRAN. (Evolved Universal Terrestrial Access Network) (3GPP 2014b.)

Kuvassa 7 havainnollistetaan miten E-UTRAN eroaa GERAN- ja UTRAN-järjestelmistä. Uusi järjestelmä ei ole yhteensopiva vanhojen kanssa eli E-UTRAN-verkossa ei toimi UMTS, HSDPA tai W-CDMA.

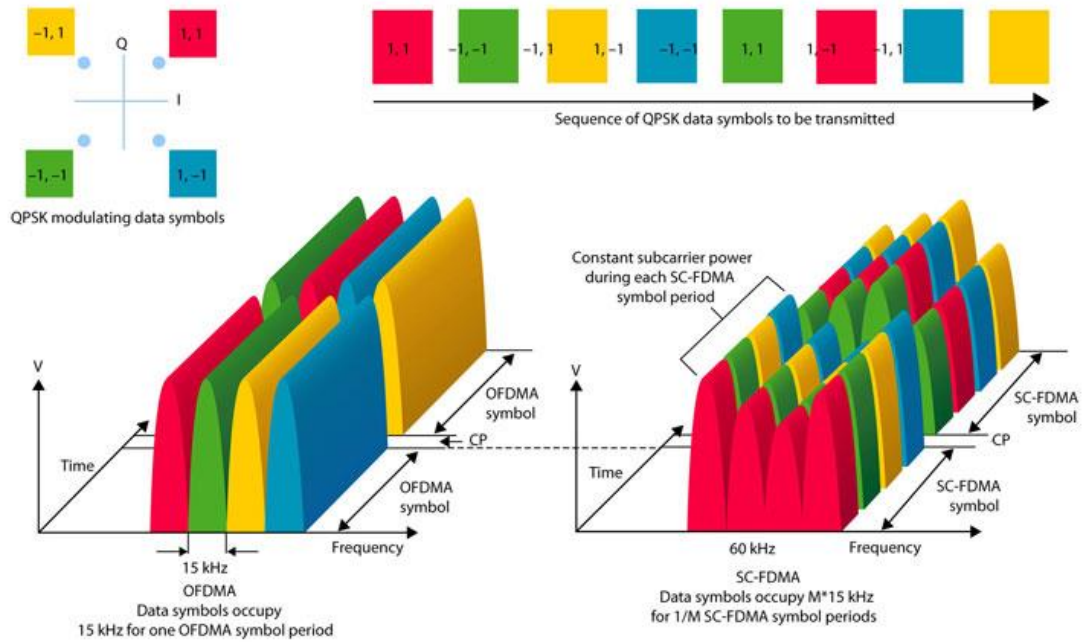


Kuva 7. Tukiasemajärjestelmän rakenne GERAN, UTRAN ja E-UTRAN toteutuksissa. (3GPP 2014).

3.5.2 Tiedonsiirtotekniikat

Tekniikoita hyödyntäen tiedonsiirtonopeudeksi saadaan LTE:lla 100/50 Mbit/s 20 MHz kaistanleveydellä ja viive pysyy alle 30 ms. MIMO-tekniikan avulla yhteyksien tiedonsiirron kapasiteetti moninkertaistuu. TTI on 0,5 ms.

Nopea tiedonsiirtonopeus saadaan aikaiseksi päätelaitteen ja tukiaseman välillä downlinkissä OFDMA:lla (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ja uplinkissä SC-FDMA:lla (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access). Kyseisiä modulaatiotekniikoita on käytetty WLAN-tekniikassa pitkään. Kuvassa 8 havainnollistetaan tekniikoiden toimintaa. QPSK modulaatiota käyttäen saadaan jokaiselle käyttäjälle yksi datasyntoli(väri). LTE käyttää QPSK:n lisäksi 16QAM ja 64QAM downlinkissä ja uplinkissä BPSK, QPSK ja 16QAM. (Wisely, D 2009, 151.)



KUVA 8. OFDMA ja SC-FDMA tiedonsiirto.

OFDMA siirtää neljällä 15 kHz taajuuskanavalla neljä QPSK datasympolia yhdellä aikavälillä ja toisella aikavälillä loput neljä datasympolia. Aikavälien välissä on suojaväli (kuva 8 CP väli), jolla suojataan datasympolit häiriöltä. Koska datasympolit siirtyvät koko aikavälin antaen päätelaitteelle varmemmin oikean tiedon, virheenkorjauksen tarve vähenee jättäen kaistatilaa siirrettävälle tiedolle. Käytännössä yhteys toimii parikaapelin tavoin päätelaitteiden ja tukiaseman välillä, jossa tieto siirtyy rinnakkaisilla väylillä samanaikaisesti eri käyttäjille. Käytettäessä 64QAM -modulaatiotekniikka saadaan 64 yhtäaikaista paria, mikä kasvattaa käyttäjien määrän 16-kertaiseksi verrattuna QPSK-tekniikkaan. (3GPP 2014.)

Korkean PARP-arvon (Peak-to-Average Power Ratio) takia OFDMA aiheuttaa huonon hyötysuhteen vahvistimelle, mikä aiheuttaa suurta virrankulutusta erityisesti matkapuhelimissa. Tämän takia uplink-yhteys käyttää eri tekniikkaa kuin downlink-yhteys.

SC-FDMA siirtää 60kHz taajuuskanavalla aikavälin sisällä ajakaallisesti neljä QPSK datasympolia. (kuva 8 SC-FDMA). Suojavälin jälkeen siirtyy ajakaallisesti neljä seuraavaa datasympolia. Tämä saadaan aikaiseksi DFT- ja IDFT-koodauksella (Discrete Fourier Transform, Inverted Discrete Fourier Transform), mistä johtuen signaalin

PARP-arvo paranee ja vähentää päätelaitteen vahvistimen tehonkulutusta ja kasvattaa peittoaluetta. (3GGP 2014.)

DC (Dual Carrier) kuuluu ensimmäisiin LTE-tekniikoihin. DC käyttää päätelaitteella kahta antennia, joissa molemmissa on HSPA-yhteys samanaikaisesti. Tämä kaksinkertaistaa HSPA:n tiedonsiirtonopeuden ja teoriassa mahdollistaa 42 Mbit/s latausnopeuden parhaimmillaan, mutta käytännössä tämä jää paljon alhaisemmaksi. Saunalahden liittymillä keskinopeudeksi DC:llä on saatu 9 Mbit/s. (Saunalahti 2014).

Tekniikoita hyödyntäen tiedonsiirtonopeudeksi saadaan LTE:llä 100/50 Mbit/s 20 MHz kaistanleveydellä ja viive pysyy alle 30 ms. TTI on 0,5 ms. MIMO-tekniikan ansiosta nopeudet moninkertaistuvat.

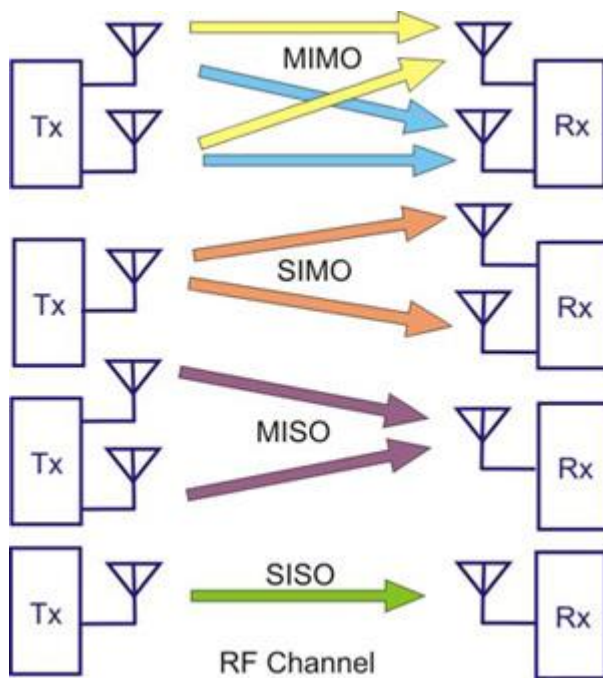
4 MOBIILILAITTEIDEN MUUTOKSET

Loppukäyttäjälle näkyvin ero mobiililaitteiden kehityksessä on varmasti ollut niiden koon kutistuminen ja älypuhelinien tulo markkinoille. Uudet älypuhelimet ovat siitä haastavia, että niiden suunnittelussa painotetaan muotoilua ja brändiä teknisten ratkaisujen kustannuksella. Kun suuri määrä sovelluksia ahdetaan pieneen pakettiin, tarvitaan suuria määriä prosessointitehoa, tallennustilaa, näytön suorituskyvyn parannuksia ja muita vaatimuksia. Tämä johtaa usein laitteiden kuumenemiseen ja kuuluvuusongelmiin kun antennille ei jää tarpeeksi tilaa kuoren sisään. Kuvassa 9 näkyy puhelinien fyysinen muutos vuosien saatossa. Huomattavaa on esimerkiksi juuri antennien siirtyminen puhelimen rungon sisälle.



KUVA 9. Matkapuhelinten fyysiset muutokset. (Nokia.fi 2013.)

Uusien mobiililaitteiden ominaisuuksien kuten karttapalveluiden, navigoinnin, tehosyöppöjen pelien ja internetvideoiden myötä tiedonsiirtonopeuden tarpeet ovat moninkertaistuneet. Uusien 4G tiedonsiirtotekniikoiden myötä on vaadittu muutoksia myös päätelaitteilta. Varmasti suurin kehitysaskel on ollut MIMO-antennien hyödyntäminen. MIMO:ssa käytetään useampaa antennia lähetin- ja vastaanottopäässä. Tämä antenniratkaisu tarjoaa huomattavan lisäyksen datan siirtoon ilman vaatimuksia suuremmasta kaistanleveydestä tai korkeammasta lähetystehosta. Antenniratkaisut voidaan jakaa neljään eri kategoriaan SISO, SIMO, MISO ja MIMO. Jokaisella ratkaisulla on omat käyttökohteensa. Seuraavassa kuvassa 10 on esitelty niiden toimintaperiaatetta. (Connig 2012.)



KUVA 10. MIMO-tekniikoiden antenniratkaisut. (DIGI-KEY 2012.)

Kuvassa vasemmalla lähettimet (Tx) ja oikealla vastaanottimet (Rx). Värillisiä nuolia seuraamalla saadaan käsitys siitä miten signaalit kulkevat useamman antennin välillä.

Mobiililaitteiden komponenttipuoli on myös ottanut huomioon kehitysaskeleita etenkin laskentatehon ja näytön suorituskyvyn puolella. Suurimpana ongelmana nähdäänkin tehonkulutuksen kasvu, sillä akkutekniikka on jäänyt auttamatta jälkeen älypuhelinkehityksessä.

Nykypäivän mobiililaitteissa huomionarvoista on myös lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikoiden tuleminen standarditoiminnoiksi. Bluetooth, WLAN, VoIP ja NFC-tekniikat ovat mullistaneet langattoman tiedonsiirron laitteiden välillä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että mobiililaitteiden muutokset kulkevat käsi kädessä langattoman tiedonsiirron kehityksen kanssa. Uudet sovellukset vaativat päivityksiä verkkotekniikoihin ja mobiililaitteiden tulee omalta osaltaan tukea näitä päivityksiä.

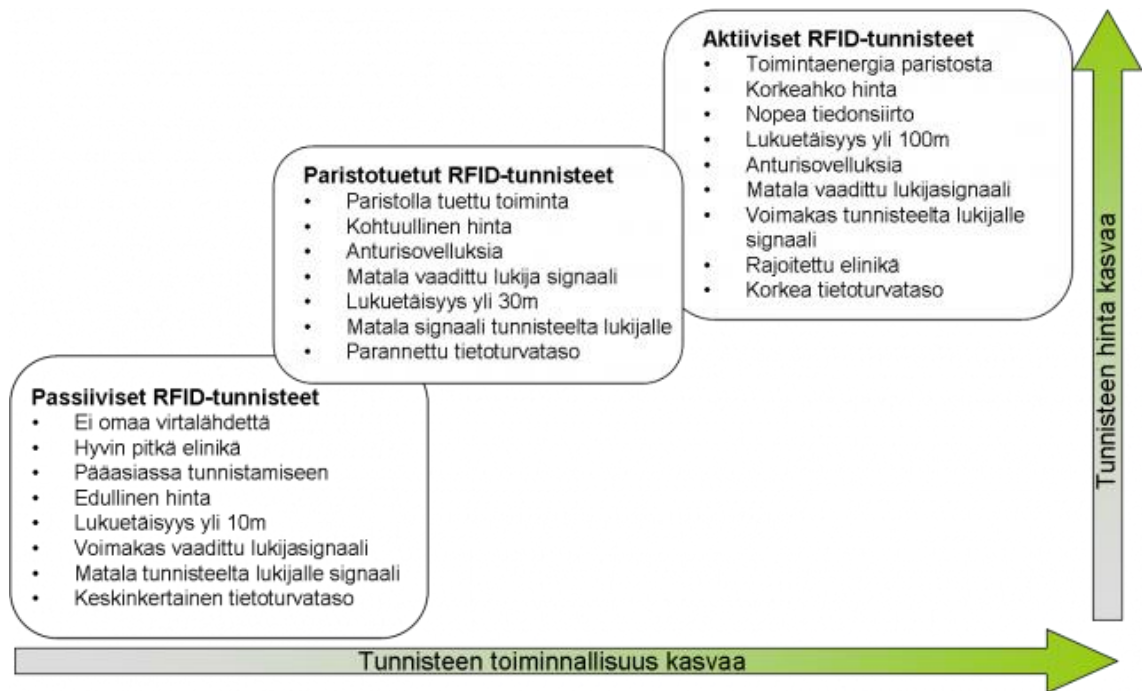
5 LYHYEN KANTAMAN LANGATTOMAT TEKNIIKAT

5.1 RFID/NFC

RFID (Radio Frequency Identification) tarkoittaa radiotaajuuksilla toimivia tekniikoita, joita käytetään tuotteiden tai asioiden tunnistamiseen, havainnointiin ja yksilöintiin. Tekniikassa haluttu tieto tallennetaan RFID-tunnisteeseen eli "tagiin". Tallennettu tieto voidaan sitten lukea RFID-lukijalla radioaaltojen välityksellä. Tunniste on yleensä kohteeseen kiinnitettävä tarra, nappi, implantti tai vastaava toteutus. Yleinen tapa selittää RFID on verrata sitä perinteiseen viivakoodiin. Viivakoodista poiketen RFID-lukija ei kuitenkaan vaadi suoraa näköyhteyttä tunnistamiseen. Huomattava hyöty löytyy myös tunnistetietojen muokkautuvuudesta. Siinä missä viivakoodi on kerran tulostettuna aina sama, voidaan RFID-tunnisteen sisältämää tietoa muuttaa jälkikäteen lukijalaitteen avulla. RFID-tunnisteeseen tallennetusta sisällöstä käytetään nimitystä EPC-koodi. (RFID Lab Finland. 2014a.)

RFID-tekniikkaa on ollut saatavilla jo useita vuosikymmeniä ja sitä on käytetty esimerkiksi matkakorteissa, avaimissa ja eläinten merkitsemisessä. Kuitenkin vasta viime vuosina on herätty moniin muihin sen tarjoamiin mahdollisuuksiin. (RFID Lab Finland. 2014a.)

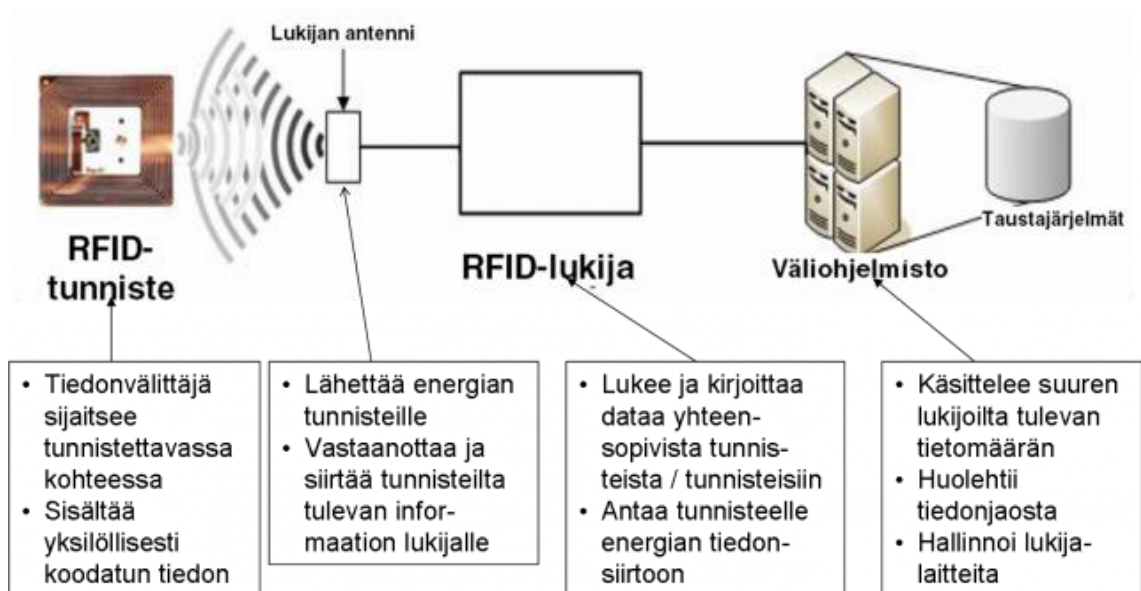
RFID-tunnisteet voidaan jakaa kahteen perustoimintamalliin. Passiivisiin ja aktiivisiin tunnisteesiin. Kuvassa 11 on esitetty näiden mallien ominaisuudet ja erot.



KUVA 11. Passiivisten ja aktiivisten tunnisteiden tyypit. (RFID Lab Finland. 2014b.)

Kun puhutaan LF (Low Frequency) ja HF (High Frequency) taajuusalueella toimivasta RFID-tekniikasta, lukija ja tunniste eivät varsinaisesti välitä radiosignaaleja keskenään, vaan keskustelevat moduloimalla oskilloivaa magneettikenttää. Lukija johtaa omaan antennisilmukkaansa vaihtovirtaa halutulla taajuudella luoden oskilloivan magneettikentän. Magneettikenttä indusoi vastaavaan vaihtovirran tunnisteessa sijaitsevaan käämiin. Induktion edellytyksenä on, että tunniste sijaitsee tarpeeksi lähellä lukijaa. Tunnisteessa sijaitseva siru saa virtansa tästä induktiosta ja moduloi tunnisteiden käämissä kulkevaa virtaa EEPROM-muistissa olevan datan perusteella. Tunnisteiden tekemät muutokset näkyvät magneettikentän yli lukijan antennisilmukan jännitemuutoksena ja sen perusteella lukija tulkitsee tunnisteiden sanomaa. (RFID Lab Finland. 2014b.)

Muilla taajuuksilla kuten UHF taajuudella toimiva RFID käyttää tiedonsiirtoon radiotaajuuksia. Lukijan lähettämät radioaallot voivat olla polarisoituja, jolloin tunnisteiden antennin asennolla saattaa olla merkitystä. (RFID Lab Finland. 2014b.)



KUVA 12. RFID-järjestelmän komponentit (RFID Lab Finland. 2014b.)

Jokaisella RFID-tekniikan käyttämällä taajuudella on omat ominaisuutensa ja optimaaliset käyttökohteensa. Esimerkiksi mikroaalloja käytetään usein aktiivitunnistuksessa ja UHF on herättänyt mielenkiintoa etenkin suurten logistiikkayritysten piirissä. RFID merkittyjen tuotteiden seuranta ja laskenta on helppoa ja nopeaa.

TAULUKKO 5. RFID taajuusalueet. (RFID Lab Finland. 2014c.)

LF	15 kHz
HF	13,56 MHz
UHF	Eurooppa 869 MHz, USA 902 - 928 MHz
Mikroaallot	2,4 GHz

Erityistä kiinnostusta matkapuhelinten saralla on herättänyt NFC-tekniologia (Near Field Communication). Teknisesti NFC perustuu RFID-tekniikkaan. NFC puhelimeen on upotettu RFID-lukija ja tunniste. Yksi kehityskohteista on nyt jo yleistynyt mobiilimaksaminen. NFC-tekniikassa fyysinen lukuetaisyys on rajattu niin pieneksi, että salakuuntelu on vaikeaa. Etäisyydeksi on määrätty noin 4 cm. NFC tarjoaa myös mahdollisuuden entistä suojatumpaan tiedonsiirtoon jos etäisyys laitteiden välillä voidaan hetkellisesti poistaa. Lähietäisyydellä voidaan ensin NFC-tekniikkaa hyödyntäen vaihtaa kahden keskeisiä salausavaimia ja sen jälkeen automaattisesti siirtyä pidemmän kantaman tiedonsiirtoon, esimerkiksi Bluetoothiin tai 3G-verkkoon.

On arvioitu että, NFC on muutamien vuosien kuluttua puhelimien vakio-ominaisuus kuten nykyään Bluetooth. (RFID Lab Finland. 2014d.)

5.2 Bluetooth

Bluetooth on tarkoitettu langattomaan tiedonsiirtoon lyhyillä etäisyyksillä. Sen pääasiallinen tarkoitus on pyrkiä korvaamaan kaapeliyhteydet esimerkiksi mobiililaitteiden, tietokoneiden ja oheislaitteiden kuten tulostimien välillä. Bluetooth osaltaan kilpailee infrapunayhteyksien kanssa, mutta on yleensä ensisijainen valinta paremman toimintavarmuutensa ja monipuolisemman siirtotekniikkansa vuoksi. Bluetooth kykenee myös yhteyslaitteiden autentikointiin ja tiedon salaukseen. Uusin versio eli Bluetooth 4.0 ylittää WLAN-tukensa avulla jopa 24 Mbit/s siirtonopeuteen. Kaikki Bluetooth versiot ovat yhteensopivia aiempien julkaisujen kanssa. (Absolute Astronomy. 2012.)

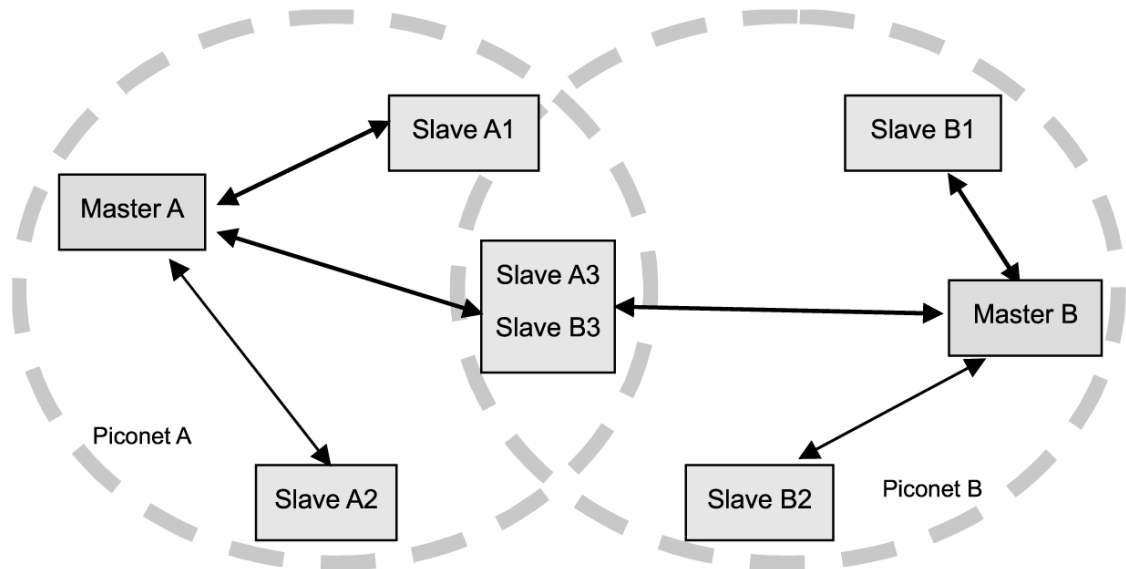
Bluetoothin taajuusalue on 2,4000 - 2,4835 GHz ja taajuushyppelyalue $f = 2402 + k$ MHz, jossa $k = 0...78$. Bluetooth siis vaihtelee lähetystaajuutta. Taajuusalueelle mahtuu yhteensä 79 kanavaa. Yhden kanavan taajuussiirto on 1 MHz. (Absolute Astronomy. 2012.)

Häiriöiden minimoimiseksi Bluetooth käyttää hajaspektritekniikkaa. Häiriöitä saattavat aiheuttaa muun muassa samoilla taajuuksilla toimivat langattomat lähiverkot ja mikroaaltouunit. Bluetoothin tietoliikenne on periaatteessa pakettikytkentäistä sen käyttämän taajuushyppelyn vuoksi. Taajuus vaihtuu 1600 kertaa sekunnissa. (Absolute Astronomy. 2012.)

Modulaationamenetelmänä Bluetooth käyttää GFSK-taajuussiirtokoodausta (Gaussian frequency shift keying). GFSK-modulaatiossa binäärinen 0 ja 1 sisällytetään käytetyn kanta-aallon pituuteen poikkeuttamalla kanta-aallon perustaajuutta. Taajuuden muutos on $\pm 500\text{kHz}$ ja sen virhe voi olla maksimissaan $\pm 75\text{kHz}$. (Absolute Astronomy. 2012.)

Bluetoothin perustana on niin sanottu Point-To-Point-yhteys, jossa kaksi laitetta kommunikoi suoraan toisilleen ilman välilaitteita. Toinen laitteista on isäntä (master) ja toinen renki (slave). Isäntälaitte voi kerrallaan olla yhteydessä maksimissaan seitsemään renkiin. Tällaisesta alle kahdeksan laitteen verkosta käytetään nimitystä pikoverkko.

Pikoverkot voivat olla yhteydessä toisiin pikoverkkoihin, jolloin ne yhdessä muodostavat hajaverkkoja. Laitteen isäntä/renki asemalla ei toisessa verkossa ole merkitystä, mutta yksi laite voi olla yhteydessä vain yhteen toiseen laitteeseen kerrallaan. Kuvassa 11 on esitetty pikoverkkojen ristikkäisyys. (Granlund. 2007. 326.)



KUVA 11. Kaksi pikoverkkoa joiden renki (slave) tilassa olevat A3 ja B3 laitteet kuuluvat kumpaankin verkkoon. (T.M. Kwan. 2005.)

Bluetoothille on määritelty profiilit, jotka asettavat rajat sille miten verkkoa käyttävien sovellusten tulee toimia. Profiilien tarkoituksena on saada eri kehittäjien sovellukset yhteensopiviksi. Profiileja ovat GAP (Generic Access Profile), lähiverkkoyhteysprofiili (Lan Access Profile) ja headset-profiili.

- GAP on perusprofiili, jonka tehtävänä on kuvata laitteiden yhteydenpidossa käyttämiä proseduureja. GAP:in suhteen kaikkien Bluetooth-laitteiden tulee olla samanlaisia.
- Lähiverkkoyhteysprofiilin tehtävän on kuvata tapaa, jolla Bluetooth-laite muodostaa yhteyden lähiverkkoon. Tämä tapahtuu erillisen tukiaseman kautta.
- Headset-profiili taas nimensä mukaan kuvaa tapaa, jolla hallitaan hands-free-toimintoja.

(Absolute Astronomy. 2012.)

Bluetooth lähettimet jaetaan kolmeen kategoriaan (taulukko 6) lähetystehonsa mukaan

TAULUKKO 6. Bluetooth lähettimien luokat. (Granlund. 2007. 328.)

Kantama	Teholuokka	Suurin teho	Pienin teho	Tehonsäätö
100m	1	100 mW	1 mW	pakollinen
10m	2	2,5 mW	1 mW	ei pakollinen
10m	3	1 mW	1 mW	ei pakollinen

Lähetin tyyppi valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Suuremmalla lähetysteholla kyetään luonnollisesti muodostamaan yhteys pidemmälle matkalle. Suurimman lähetystehon luokkaa 1, käytetään pääosin kannettavissa tietokoneissa ja Bluetooth - USB adaptereissa. (Absolute Astronomy. 2012.)

Bluetooth yhteyksien tietoturva muodostuu edellyttämällä uuden laitteen autentikointia ja siirrettävän tiedon salausta. Näitä toimintoja hallitaan MAC-osoitteen, kahden salaisen avaimen ja autentikointivaiheessa käytetyn satunnaisluvun avulla. Autentikoinnin perustana toimii niin sanottu haaste-vaste menetelmä (challenge - response). Varsinainen tiedon salaus tapahtuu E0-jonosalaimella. (Granlund. 2007. 334.)

5.3 WLAN (Wireless Local Area Network)

Yleisin lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtotekniikka, joka löytyy lähestulkoon jokaisesta kannettavasta tietokoneesta, tabletista tai älypuhelimesta. WLAN mahdollistaa langattoman sisäisen verkon luonnin WLAN-tukiasemilla. Tukiasema eli kytkin on yhteydessä reitittimeen, josta on määritetyt yhteydet ulospäin sisäisestä verkosta esimerkiksi internetiin.

5.3.1 Standardit

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) on määrittänyt 802.11 standardin WLAN-tekniikalle, mikä on kehittynyt eteenpäin. WLAN toimii 2,4 GHz ja 5 GHz taajuusalueilla riippuen standardista.

Ensimmäinen **802.11**–standardin mukainen WLAN oli nopeudeltaan vain 2 Mbit/s parhaimmillaan. Kehittyneempi **802.11b**–standardi tarjosi jo 5,5 ja 11 Mbit/s siirtonopeuksia. Nämä molemmat standardit toimivat 2,4 GHz taajuudella. (Hovatta 2005, 11.)

802.11g–standardi oli päivitys 802.11b–standardille, mikä mahdollisti OFDMA modulaation avulla 54 Mbit/s nopeuden. Päivitys voitiin toteuttaa helposti vanhemman standardin laitteille pelkällä ohjelmistopäivityksellä. (Geier 2004, 127.)

Korkeampiin taajuuksiin siirryttiin **802.11a**–standardin myötä, mikä käytti 5 GHz taajuutta ja OFDMA modulaatiota. Korkeampi 5 GHz taajuus tarjoaa enemmän kanavia, joissa ei ole häiriötä kuin 2,4 GHz taajuus. 802.11a:lla päästiin jopa 54 Mbit/s siirtonopeuksiin. Kanavien määrän kasvaessa suurempia käyttäjämääriä voitiin hyödyntää WLAN–verkossa. 802.11a ei ole yhteensopiva edeltäjiensä kanssa. (Hovatta 2005, 11.)

Viimeisin **802.11n**–standardi toimii molemmilla 2,4 GHz ja 5 GHz taajuuksilla, mahdollistaa useampien antennien (MIMO) käytön sekä korkean 40 MHz kaistanleveyden. Näitä tekniikoita hyödyntäen tiedonsiirtonopeus vaihtelee 54 – 600 Mbit/s välillä riippuen antennien määrästä ja kaistanleveydestä. (IEEE 802.11-2012 2012)

5.3.2 Kanavat ja taajuusalueet

2,4 GHz taajuusalue WLAN:ssa käsittää 2 400 – 2 483,5 MHz alueen, jossa on 13 kanavaa. Ensimmäisen kanavan keskitaajuus on 2412 MHz ja seuraavan 5 MHz korkeampi ja sitä seuraavaan taas 5 MHz. Kaistanleveys WLAN–yhteyksillä on 20 MHz tai 40 MHz, mikä estää kaikkien kanavien samanaikaisen käytön ylikuulumisesta johtuvan häiriön takia. Normaalisti käyttökanaviksi valitaan 1, 6 ja 11 jos halutaan kolme tukiasemaa toimimaan samassa tilassa 20 MHz kaistanleveydellä. Kaistanleveyden ollessa 40 MHz voidaan käyttää vain kanavia 3 ja 11.

TAULUKKO 7. 2,4 GHz taajuusalueen kanavat ja keskitaajuudet

Kanava	Keskitaajuus (MHz)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472

5 GHz taajuusalueella kanavat jakautuvat A- ja B-alueisiin ja niissä oleviin kanaviin 5 150 – 5 725 MHz välille.

Alueella A ensimmäisen kanavan keskitaajuus on 5 180 MHz. Kanavia on 8 kappaletta ja niiden keskitaajuuksien väli on 20 MHz. Numerointi kanavilla on toteutettu neljän välein ja ensimmäisen kanavan numero on 36 ja seuraavan 40.

TAULUKKO 9. A-alueen kanavat ja keskitaajuudet

Kanava	Keskitaajuus (MHz)
36	5180
40	5200
44	5220
48	5240
52	5260
56	5280
60	5300
64	5320

Alueella B käyttää 11 kanavaa. Ensimmäisen kanavan numero on 100 ja seuraava 104. Kanavien keskitaajuuksien väli on 20 MHz ja kanavan 100 keskitaajuus on 5 500 MHz. Käytännössä B-alueeseen saadaan 11 tukiasemaa 20 MHz kaistanleveydellä ilman suurta häiriötä ja 40 MHz kaistanleveydellä kuusi tukiasemaa.

TAULUKKO 8. B-alueen kanavat ja keskitaajuudet

Kanava	Keskitaajuus (MHz)
100	5500
104	5520
108	5540
112	5560
116	5580
120	5600
124	5620
128	5640
132	5660
136	5680
140	5700

Maakohtaisia eroja taajuusalueiden käytön suhteen on, mutta 2,4 GHz taajuusalue on määritelty maailmanlaajuisesti vapaaseen käyttöön ilman erillistä lupaa. Tästä johtuen esimerkiksi radio-ohjattavat laitteet aiheuttavat häiriötä 2,4 GHz WLAN-verkkoihin.

5.3.3 Tietoturva

Yleisimmät tavat yhdistää laite WLAN-verkkoon on joko web-autentikoinnilla tai PSK:lla (Pre-Shared Key). Web-autentikoinnissa verkkoon kirjaudutaan sisään käyttäjätunnuksella ja salasanalla selainta käyttäen. Menetelmä vaatii palvelimen, joka käsittelee pääsylistoja ja määrittää liikenteen hallinnan. PSK päästää sisään kaikki salasanan tietävät käyttäjät, jonka jälkeen tieto siirtyy verkon sisällä salaamattomana.

Radioliikenteen salaus toteutetaan WPA:lla (Wi-Fi Protected Access). Salausmenetelmän kehittynein versio on WPA2-AES, joka toimii 256-bittisellä salauksella. WEP (Wired Equivalent Privacy) salausmenetelmää ei tule koskaan käyttää sen heikon suojauksen takia.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kattava katsaus mobiililaitteiden käyttämiin tiedonsiirtotekniikoihin. Työ antaa lukijalleen hyvät perustiedot langattomasta tiedonsiirrosta ja sen kehityksestä.

Työn pääpaino oli nykypäivän matkapuhelinverkoissa (3G, 4G), mutta myös käytöstä jo poistuneita tekniikoita kuten NMT:tä käsiteltiin, jotta kyettiin luomaan parempi kuva tekniikoiden kehitysvaiheista. GSM-tekniikkaa tarkasteltiin melko tarkasti sillä käytössä olevat 3G ja 4G verkot pohjautuvat osin siihen ja GSM on edelleen tärkeä osa matkapuhelin liikennettä.

Työn toisessa vaiheessa tutkittiin myös lyhyen kantaman tiedonsiirtotekniikoita kuten Bluetoothia ja WLANia, joiden merkitys etenkin datan siirrossa ja oheislaitteiden käytössä on kasvanut huomasti.

Langattoman tiedonsiirron tulevaisuus näyttää valoisalta. Uusien tekniikoiden myötä sen tarjoamat tiedonsiirtonopeudet tulevat edelleen kasvamaan lähitulevaisuudessa. Kiihtyvien nopeuksien ja jatkuvasti laajenevan käyttöalueensa ansiosta langattomat yhteydet tarjoavat jo nyt varteenotettavan vaihtoehdon perinteisille kiinteille kaapeliyhteyksille. Tosin ei olla aivan siinä tilanteessa, että esimerkiksi 4G yhteydet kykenesivät ympäri vuorokauden tarjoamaan operaattoreiden mainostamia nopeuksia, vaan ruuhka-aikoina verkon suorituskyky saattaa vaihdella rajusti.

Vaikka 4G verkko on vasta melko tuore innovaatio, ovat ensimmäiset yritykset kääntäneet katsettaan jo 5G-tekniikan kehitykseen. Huolimatta siitä, että mitään todellista ei 5G:n saralla ole julkaistu, osoittaa halua ja tarvetta luoda yhä kehittyneempiä verkkoratkaisuja ihmisille, joiden liikkuminen ympäri maailman vaatii aivan uudenlaista joustoa ja saatavuutta myös matkapuhelinverkoilta.

Lyhyen kantaman tekniikoiden kehitys tulee jatkumaan. Nykypäivän trendien ja käytännöllisyyden näkökulmasta tarkasteltaessa turhien kaapeleiden käyttöä pyritään vähentämään. Kaipaaako joku vielä esimerkiksi johtoja takaisin hands-free kuulokkeiden ja matkapuhelimensa välille?

LÄHTEET

- Absolute Astronomy. 2012. Bluetooth Facts. Luettu 5.5.2014.
<http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bluetooth#encyclopedia>
- Connig. 2012. What is MIMO?. Luettu 9.5.2014.
<http://www.conniq.com/WiMAX/mimo-02.htm>
- DIGI-KEY. 2012. MIMO. Luettu 9.5.2014.
<http://www.digikey.com/en-US/articles/techzone/2012/dec/wireless-mimo-driving-rf-challenges>
- FiCom/Nora Elers. 2014. Luettu 14.3.2014.
www.ficom.fi/tietoa/tietoa_4_1.html?Id=1034921940.html
- Geier, J. 2004. Langattomat verkot. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Granlund, K. 2001 Langaton tiedonsiirto Jyväskylä: Docendo Finland Oy.
- Granlund, K. 2007 Tietoliikenne Jyväskylä: WSOY.
- Hovatta, T. 2005. WLAN-tekniikat ja -käyttösovellukset toimitilakiinteistössä. Espoo: Sähköinfo Oy.
- IEEE 802.11-2012 –standardin julkaisu. 2012. IEEE 802.11-2012 Luettu 5.5.2014.
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>
- Jukka K. Nurminen. 2010. Soluverkot. Luettu 24.3.2014.
[http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.2100/2010/luennot-files/Solukkovertot%20\(luonnos\).pdf](http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.2100/2010/luennot-files/Solukkovertot%20(luonnos).pdf)
- Motorola. 2007. Motorola. Luettu 28.4.2014.
http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Solutions/Industry%20Solutions/Service%20Providers/Wireless%20Operators/LTE/_Document/Static%20Files/6833_MotDoc_New.pdf
- nokia.fi. 2013. Nokia ja kestävä kehitys. Luettu 9.5.2014.
<http://aani.nokia.fi/2013/11/19/nokia-ja-kestava-kehitys-elinkaariajattelu-ja-ymparistovaikutusten-arviointi/>
- Penttinen, J. 2006a Tietoliikennetekniikka Perusverkot ja GSM Helsinki: WSOY.
- Penttinen, J. 2006b Tietoliikennetekniikka 3G ja erikoisverkot Helsinki: WSOY.
- RFID Lab Finland. 2014a. Luettu 7.5.2014.
<http://www.rfidlab.fi/rfid-tietoutta>
- RFID Lab Finland. 2014b. Luettu 7.5.2014.
<http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-perusteet>

RFID Lab Finland. 2014c. Luettu 7.5.2014.

<http://www.rfidlab.fi/rfid-teknikan-k%C3%A4ytt%C3%A4m%C3%A4t-taajuusalueet>

RFID Lab Finland. 2014d. Luettu 7.5.2014.

<http://www.rfidlab.fi/nfc>

Saunalahti. 2014. Saunalahti. Luettu 23.4.2014.

<http://asiakastuki.saunalahti.fi/ohje/350/>

Tallinan yliopisto. 2014. Luettu 14.3.2014.

http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/systems/mobiiliteknikoiden_kehitys.html

T.M. Kwan. 2005. Design and analysis of Bluetooth scatternet for mobile multimedia applications. Luettu 5.5.2014.

<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1528967>

Viestintävirasto. 2013. Viestintävirasto. Luettu 18.3.2014.

https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Taajuusjakotaulukko_31122013.pdf

Wisely, D. 2009 IP for 4G Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

3GPP. 2014. LTE. Luettu 9.4.201.

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

3GPP. 2014a. HSPA. Luettu 14.3.2014.

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>