
MOBIILIVERKKOJEN TESTAAMINEN



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tietotekniikan koulutusohjelma

Forssa, kevät 2015

Oma Allekirjoituksesi

Petri Syrjänen



Forssa
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokonetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Petri Syrjänen	Vuosi 2015
Työn nimi	Mobiiliverkkojen testaaminen	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää langattomien teknologioiden verkkojen rakenteellisia eroja, toimintaa ja kehitystä. Lisäksi pyrkimyksenä oli tarkastella verkkoon muodostettuja yhteyksiä, niiden liikkumista verkossa sekä saatavilla olevaa tietoa päätelaitteen yhteydestä mitta-parametrien muodossa. Aihe on kiinnostava ja tarpeellinen myös ammattiosaamisen kannalta. Tarkoituksena oli myös tuottaa tietoa alaa opiskeleville sekä muille aiheesta kiinnostuneille.

Opinnäytetyössä sovellettiin omaa osaamista yhteyksien testaamisesta. Työssä keskityttiin Suomessa käytössä oleviin teknologioihin, aina toisen sukupolven GSM-teknologiasta viimeisimpään neljännen sukupolven LTE-teknologiaan.

Syy tukiasemanvaihdon sekä kanavanvaihdon (engl. handover) käsittelyyn tässä työssä johtui siitä, että näissä tilanteissa mahdolliset yhteyshäiriöt yleensä esiintyvät. Mahdollisten häiriöiden tai katkosten sattuessa pystytään työn tarjoamalla työkaluilla tutkimaan mahdollista aiheuttajaa, tai ainakin yksilöimään solu, josta mahdollinen häiriö aiheutuu ja ilmoittamaan asiasta verkkoa operoivalle taholle.

Avainsanat GSM, UMTS, LTE, verkot, langattomat, yhteydet, parametrit.

Sivut 30 s. + liitteet 7 s.

Forssa
Degree Programme in Information technology
Data Communications

Author	Petri Syrjänen	Year 2015
Subject of Bachelor's thesis	Testing of Mobile Networks	

ABSTRACT

The objective of this project was to examine the architectural differences between different technologies radio access networks, the mechanics behind them and the evolution of them. An additional aim was to examine the connections and how they moved inside and across networks and what kind of information was available about formed connections. The subject for this thesis came from a general interest of the author towards the subject. A surplus intention in this project was to provide information for those studying this field or who otherwise had an interest towards the subject.

For the process of this project the aspiration was to apply previous know-how about the networks and connections. A primary target was to produce a report which would provide information even for those not so familiar with this subject and be able to understand the information about the connections of mobile devices. The main focus was on technologies commissioned in Finland from the second generation GSM to the fourth generation LTE.

The handover section was covered in this project fairly widely because these were usually moments when possible interference may occur. When these interferences take place on a regular basis inside the same area, the information provided in this thesis gives a guideline to examining possible causes for these events, or at least to individualize the cell that is causing interference and inform the network operator about these issues.

Keywords GSM, UMTS, LTE, networks, wireless, connections, parameters.

Pages 30 p. + appendices 7 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LANGATTOMAT VERKOT	2
2.1	Langattomien verkkojen jako maailmanlaajuisesti	2
2.2	Verkkojen jako valtiokohtaisesti.....	2
2.3	Verkkojen sisäiset segmentit.....	3
2.4	Radioliityntäverkko	3
3	TEKNOLOGIAT	6
3.1	Toisen sukupolven teknologiat	7
3.1.1	GPRS	7
3.1.2	EDGE.....	8
3.2	Kolmannen sukupolven mobiiliteknologiat,	9
3.2.1	UMTS	9
3.2.2	HSPA.....	9
3.3	Neljännän sukupolven mobiiliteknologiat LTE, 4G	10
4	HANDOVER.....	12
4.1	Handoverin syyt	12
4.2	Handover-tekniikat.....	13
4.2.1	Hard handover	13
4.2.2	Soft handover.....	13
4.3	Solujen naapuruudet.....	15
4.4	Handoverin kriteerit	15
4.5	Handovereiden priorisointi.....	16
4.6	Vertikaalit handoverit.....	17
4.6.1	Inter-System Handover.....	17
4.6.2	Intra-System Handover.....	17
5	YHTEYDEN TESTAAMINEN	19
5.1	Signaalin voimakkuus	19
5.1.1	RSSI.....	19
5.1.2	Vastaanotetun signaalin voimakkuuden taso.....	20
5.1.3	RxLev Full ja Sub.....	21
5.2	Signaali-kohinasuhde	22
5.3	Laatu.....	23
5.3.1	GSM-teknologian signaalin laatuparametri RxQual	23
5.3.2	UMTS-teknologian signaalin laatuparametri Ec/No	24
5.3.3	LTE-teknologian laatuparametrit RSRP ja RSRQ	24
5.3.4	CQI	25
5.4	Tiedonsiirtonopeudet.....	26
6	POHDINTA.....	27
	LÄHTEET	29

LIITTEET

- Liite 1 Testisovelluksella saatavaa tietoa yhteydestä
- Liite 2 Testisovelluksella saatavaa tietoa yhteydestä 2
- Liite 3 Ajettu testireitti, ja vastaanotetun signaalin tason vaihtelu
- Liite 4 Ajettu testireitti, ja vastaanotetun signaalin laadun vaihtelu
- Liite 5 Ajettu testireitti, ja yhteyden siirrot solujen välillä
- Liite 6 Ajettu reitti ja signaalin kohinatason vaihtelu
- Liite 7 Reitin varrella tehdyt latausnopeustestit

Lyhenteet ja termit

0G	(<i>Zeroth Generation Mobile Networks</i>) Nollannen sukupolven mobiiliverkko standardit, Suomessa esim. ARP.
1XEV-DO	(<i>Evolution Data Optimized</i>) Telekommunikaatio standardi, perustuu CDMA 2000 teknologiaan.
1G	(<i>First Generation Mobile Networks</i>) Ensimmäisen sukupolven mobiiliverkko standardit esim. NMT.
2G	(<i>Second Generation Mobile Networks</i>) Toisen sukupolven mobiiliverkko standardit esim. GSM.
3G	(<i>Third Generation Mobile Networks</i>) Kolmannen sukupolven mobiiliverkko standardit esim. UMTS.
3GPP	(<i>3rd Generation Partnership Project</i>) Kansainvälinen mobiiliteknologioiden standardointijärjestöjen yhteistyöprojekti, joka vastaa kolmannen sukupolven teknologioiden teknisistä määrittelyistä.
4G	(<i>Fourth Generation Mobile Networks</i>) Neljännen sukupolven mobiiliverkko standardit. esim. LTE.
5G	(<i>Fifth Generation Mobile Networks</i>) Viidennen sukupolven mobiiliverkko - standardit. Teknologiat vielä kehitteillä.
Abis	GERAN verkoissa tukiaseman ja ohjaimen välinen rajapinta.
ARP	Autoradiopuhelin. Ensimmäinen kaupallinen langaton viestintäjärjestelmä Suomessa.
AuC	(<i>Authentication Center</i>) Todentaa käyttäjätiedot päätelaitteen liittyessä verkkoon.
BCCH	(<i>Broadcast Control Channel</i>) Lähetyksen hallintakanava.
BER	(<i>Bit Error Rate</i>) Digitaalisessa tiedonsiirrossa bittivirheiden määrää ilmaiseva arvo.
BLER	(<i>Block Error Rate</i>) LTE teknologiassa käytetty mittayksikkö, joka kuvaa virheellisten blokkien suhdetta lähetyksen koko blokkien määrään.
BM-SC	(<i>Broadcast Multicast Service Center</i>) Verkon rajapinta, joka tukee lähetystä useille vastaanottajille samanaikaisesti.
BS, BTS	(<i>Base Station, Base Transceiver Station</i>) Radioverkon tukiasema, johon päätelaitteet muodostavat yhteyden radorajapinnan kautta.
BSC	(<i>Base Station Controller</i>) Tukiasemaohjain.
BSIC	(<i>Base Station Identity Code</i>) Tukiaseman tunniste.
CAP	(<i>Carrierless Amplitude Phase Modulation</i>) Kantoaalton amplitudi ja vaihemodulaatio.

CDMA	(<i>Code Division Multiple Access</i>) Koodijakokanavointi, radiorajapinnan kanavanvarausteknologia.
cdma2000	Kolmannen sukupolven teknologioiden standardikokoelma.
CI, CID	(<i>Cell Identification</i>) Solun tunniste.
CN	(<i>Core Network</i>) Runkoverkko.
CPICH	(<i>Common Pilot Channel</i>) Kolmannen sukupolven tekniikoissa yleinen pilottikanava.
CQI	(<i>Channel Quality Indicator</i>) Kanavan laadun indikaattori, LTE-järjestelmissä.
CRC	(<i>Cyclic Redundancy Check</i>) Algoritmi jota käytetään tiedonsiirron virheiden havaitsemiseen.
CSD	(<i>Circuit Switched Data</i>) Piirikytkentäinen tiedonsiirto.
dBi	(<i>Decibel isotropic</i>) Antennin vahvistuksen mittayksikkö.
DC-HSPA	(<i>Dual Carrier/Cell –HSPA</i>) HSPA-versio, joka yhdistää tukiasemalta kahden kantaallon taajuuskaistojen kapasiteetit molemmissa siirtosuunnissa.
DL	(<i>Downlink</i>) Niin sanottu laskeva siirtotie, verkosta päätelaitteelle.
DSL	(<i>Digital Subscriber Line</i>) Digitaalinen tilaajayhteys.
DSP	(<i>Digital Signal Processing</i>) Digitaalinen signaalin prosessointi.
DTX	(<i>Discontinuous Transmission</i>) Epäjatkuva lähetys.
Ec/No tai Ec/Io	(<i>Energy per Chip/Noise Spectral Density</i>) Vastaanotetun kantaallon tehon suhde kaikkeen vastaanotettuun kohinatehoon. Käytetään pilottikanavan laadun mittaukseseen.
EDGE, tai EGPRS	(<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution tai Enhanced GPRS</i>) Toisen sukupolven teknologioiden pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon käyttämä GPRS:n laajennustekniikka, niin sanottu 2,75G.
E-HSPA, HSPA+	(<i>Evolved HSPA</i>) Kehittyneempi versio HSPA tekniikasta.
EIR	(<i>Equipment Identity Register</i>) Verkko-operaattorin ylläpitämä tietokanta IMEI koodeista.
EIRP	(<i>Equivalent Isotropically Radiated Power</i>) Ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho.
eNodeB, eNB	(<i>Evolved NodeB</i>) E-UTRAN radiorajapinnalla toimiva LTE teknologian tukiasema.
EPC	(<i>Evolved Packet Core</i>) LTE-teknologian runkoverkko.
E-UTRA	(<i>Evolved UMTS Terrestrial Radio Access</i>) LTE-teknologian radiorajapinta.
E-UTRAN tai E-	(<i>Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>) LTE-teknologian radioyht-

RAN	teysverkko, suunniteltu korvaamaan vanhoja yhteysverkkoja.
FDD	<i>(Frequency Division Duplexing)</i> Taajuusjakoinen dupleksointi. Lähetys- ja vastaanotto liikenne käyttävät erillisiä taajuusalueita.
FDMA	<i>(Frequency Division Multiple Access)</i> Taajuusjakokanavointi.
FSPL	<i>(Free Space Path Loss)</i> Signaalin voimakkuuden heikkeneminen vapaassa tilassa.
GAN	<i>(Generic Access Network)</i> Tekniikka joka mahdollistaa verkon liikenteen siirtämisen eri teknologioiden verkkojen välillä.
GCC	<i>(General Communication Channel)</i> Taajuuden sisällä toimiva siirtoyhteyden hallintakanava, runkoverkon laitteiden välillä.
GERAN	<i>(GSM EDGE Radio Access Network)</i> GSM, EDGE-tekniikan radioyhteysverkko.
GGSN	<i>(Gateway GPRS Support Node)</i> Yhdistää GPRS-verkon julkiseen verkkoon.
GMSC	<i>(Gateway Mobile Switching Center)</i> Yhdyskäytävä radiopuhelinkeskuksen ja puhelinverkon välillä.
GPRS	<i>(General Packet Radio Service)</i> GSM-tekniikan laajennus, pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu, niin sanottu 2,5G.
GSM	<i>(Global Systems for Mobile Communications)</i> Maailmanlaajuinen toisen sukupolven digitaalinen matkapuhelintekniikka.
HDTV	<i>(High Definition Television)</i> Teräväpiirtotelevisio.
HLR	<i>(Home Location Register)</i> Tietokanta, joka sisältää jokaisen päätelaitteen käyttäjän tiedot joilla on oikeus käyttää verkkoa.
HNI	<i>(Home Network Identity)</i> Kotiverkon tunnistus.
HSDPA	<i>(High Speed Downlink Packet Access)</i> 3G-tekniikan yhteyskäytäntölaajennus niin sanottu 3,5G. Nopeuttaa UMTS-tekniikkaan perustuvaa matkapuhelinverkkoa lataussuunnassa verkosta päätelaitteelle.
HSPA	<i>(High Speed Packet Access)</i> Kolmannen sukupolven yhteyskäytäntö protokollien kokoelma, joka laajentaa ja parantaa UMTS-protokollien suorituskykyä. Toimii yleiskäsitteenä UMTS-tekniikan laajennuksille kuten HSDPA ja HSUPA.
HSS	<i>(Home Subscriber Server)</i> 4G-verkon tilaajarekisteri tietokanta.
HSUPA	<i>(High Speed Uplink Packet Access)</i> 3G-tekniikan yhteyskäytäntölaajennus niin sanottu 3,75G. Nopeuttaa UMTS-tekniikkaan perustuvaa matkapuhelinverkkoa päätelaitteelta verkkoon.
IMEI	<i>(International Mobile Station Equipment Identity)</i> Päätelaitteen yksilöivä tunnistus.
IMS	<i>(IP-Multimedia Core Network Subsystem)</i> Multimedisäätöjärjestelmä.

IMSI	(<i>Integrated Mobile Subscriber Number</i>) Liittymän yksilöintitunniste.
IP	(<i>Internet Protocol</i>) TCP/IP-mallin Internet protokolla.
IS-95	(<i>Interim Standard 95</i>) Qualcommin kehittämä CDMA-standardi.
ITU	(<i>International Telecommunications Union</i>) YK:n alainen kansainvälinen televiestintäliitto. Vastaa mm. standardoinnista ja radiotaajuusalueiden jakamisesta.
ITU-T	(<i>ITU Telecommunication Sector</i>) ITU:n alainen televiestintäsektori.
IuB	(<i>Interface Protocol Specification</i>) 3G-teknologian tukiaseman ja ohjaimen välinen yhdyskäytäväprotokolla.
IuCS	(<i>Interface Protocol Specification</i>) 3G-teknologian yhdyskäytäväprotokolla ohjaimen ja keskuksen välillä.
IuPS	(<i>Interface Protocol Specification</i>) 3G-teknologian yhdyskäytäväprotokolla ohjaimen ja pakettikytkentäisen verkon välillä.
LAC	(<i>Local Area Code</i>) Verkon aluetunniste.
LAI	(<i>Local Area Identity</i>) Verkon aluetunniste.
LCID	(<i>UTRAN Cell ID</i>) 3G-teknologian käyttämä solutunniste.
LTE	(<i>Long Term Evolution</i>) Neljännen sukupolven matkapuhelinverkkojen käyttämä teknologia.
LTE-A, LTE+	(<i>LTE-Advanced</i>) Täyttää ITU:n standardien mukaiset neljännen sukupolven vaatimukset, mukaan lukien 1 Gbps latausnopeuden.
MCC	(<i>Mobile Country Code</i>) Mobiiliverkkojen maakohtainen tunnistekoodi.
MIMO	(<i>Multiple Input Multiple Output</i>) Uusien LTE-teknologian verkkojen antennitekniologia, jossa sekä lähetys- että vastaanottopuolella on useita antennia, joiden kautta liikenne kulkee.
MME	(<i>Mobility Management Entity</i>) Liikkuvuudenhallintaelementti. Osa EPC-verkkoa.
MNC	(<i>Mobile Network Code</i>) Mobiiliverkon verkkokohtainen tunnistekoodi.
MSC	(<i>Mobile Switching Center</i>) Mobiilipuhelinkeskus.
MSIN	(<i>Mobile Subscriber Identification Number</i>) Liittymän yksilöivä tunniste.
MTSO	(<i>Mobile Telephone Switching Office</i>) Mobiilipuhelinkeskus.
NACK tai NAK	(<i>Negative-Acknowledge Character</i>) Virheestä ilmoittava kontrollimerkki yhteyden muodostaneiden laitteiden välillä.
NMR	(<i>Network Measurement Report</i>) Verkon mittausraportti.
NMT	(<i>Nordic Mobile Telephony</i>) Pohjoismaiden yhteinen, ensimmäisen sukupolven

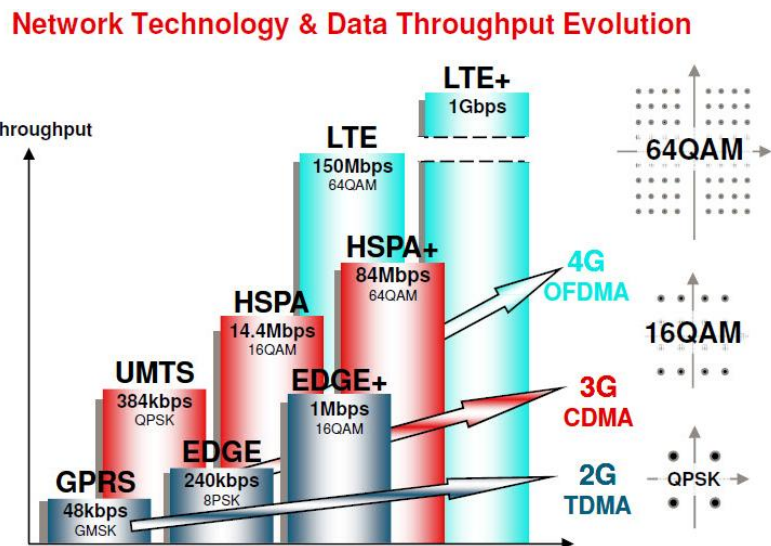
	automatisoitu analoginen matkapuhelinverkko, joka mahdollisti verkkovierailut.
NodeB, NB	UMTS teknologian verkon tukiasema.
OFDMA	(<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>) OFDM-lajennus LTE-radorajapinnalla, joka mahdollistaa tiedonsiirron useille vastaanottajille yhtäaikaista.
PCMCIA	(<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>) Organisaatioiden muodostama järjestö, joka on luonut standardit PC-kortteille.
PCRF	(<i>Policy and Charging Rules Function</i>) Multimediaverkkojen käytäntöjä ohjaava ohjelmisto. Valvoo käyttäjälupia, käyttöoikeuksia ja laskutusta.
PDN GW	(<i>Packet Data Network Gateway</i>) Yhdyskäytävä, jossa jaetaan IP-osoitteet, ja joka kytkee Serving Gateway:n SAE:n ulkopuolella olevaan pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoverkkoon.
PLMN	(<i>Public Land Mobile Network</i>) Operaattorin hallinnoima mobiiliverkko.
PSTN	(<i>Public Switched Telephone Network</i>) Perinteinen puhelinverkko.
QAM	(<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>) Digitaalinen modulaatiotekniikka, jossa yhdistyy vaihe ja amplitudi modulaatio.
QPSK	(<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>) Nelivaiheinen vaiheavainnus. Digitaalinen neljää kantaallon vaihetta hyödyntävä vaihemoduloinnin menetelmä.
RAN	(<i>Radio Access Network</i>) Tukiasemien ja tukiasemaohjainten muodostama radio-liityntäverkko.
RB	(<i>Resource Block</i>) Radiokehys, joka jakautuu kymmeneen alikehykseen, jotka kukin jakautuvat kahteen 0,5 ms aikaväliin.
RMS	(<i>Root Mean Square</i>) Neliöllinen keskiarvo.
RNC	(<i>Radio Network Controller</i>) UMTS teknologian tukiasemaohjain.
RRC	(<i>Radio Resource Control</i>) UMTS protokolla, joka hoitaa kontrollisignalointia päätelaitteiden ja verkon välillä.
RSCP	(<i>Received Signal Code Power</i>) Kanavan kentänvoimakkuus 3G-tekniikassa.
RSRP	(<i>Reference Signal Received Power</i>) Kanavan kentänvoimakkuus 4G-tekniikassa.
RSRQ	(<i>Reference Signal Received Quality</i>) Vastaanotetun signaalin laatu 4G-tekniikassa.
RSSI	(<i>Received Signal Strength Indicator</i>) Vastaanotetun signaalin tehon indikaattori.
RTT	(<i>Round Trip Time</i>) Vasteaika.
RxLev	(<i>Received Level</i>) Kanavan kentänvoimakkuus 2G-tekniikassa.
RxQual	(<i>Received Quality</i>) Vastaanotetun signaalin laatu.

SACCH	(<i>Slow Associated Control Channel</i>) 2G-tekniikan ohjauskanava.
SGSN	(<i>Serving GPRS Support Node</i>) Hoitaa datapakettien reitityksen.
SGW	(<i>Serving Gateway</i>) Yhdyskäytävä E-UTRAN tekniikan verkossa.
SIM	(<i>Subscriber Identity Module</i>) Matkapuhelimen tunnistus moduuli. Liittymän tunnistetiedot sisältävä älykortti.
SMS	(<i>Short Message Service</i>) Mobiilipäätelaitteiden tekstiviestijärjestelmä.
SMSC	(<i>Short Message Service Center</i>) Tekstiviestikeskus. Ohjaa tekstiviestiliikennettä.
SNR, S/N, SINR	(<i>Signal to Noise Ratio</i>) Signaalikohinasuhde.
SS7	(<i>Signaling System 7</i>) Puhelinverkon merkinantoprotokolla.
SSP	(<i>Service Switching Point</i>) Puhelinvaihte, jossa puhelut yhdistetään vastaanottajalle.
TDD	(<i>Time Division Duplexing</i>) Aikajakoinen dupleksointi, jossa käytetään samaa taajuusaluetta siirrossa molempiin suuntiin.
TDMA	(<i>Time Division Multiple Access</i>) Aikajakokanavointi, radiorajapinnan kanavien varaamiseen käytetty tekniikka.
UE	(<i>User Equipment</i>) Päätelaite.
UL	(<i>Uplink</i>). Niin sanottu nouseva siirtotie. Lataussuunnassa päätelaitteelta verkkoon.
UMA	(<i>Unlicensed Mobile Access</i>) Tekniikka, joka mahdollistaa verkon liikenteen siirtämisen eri tekniikoiden verkkojen välillä.
UMTS	(<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>) Maailmanlaajuinen kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikastandardi, joka on suunniteltu korvaamaan GSM standardin mukaisia verkkoja.
UTRAN	(<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>) UMTS:n radioliityntäverkko.
VLR	(<i>Visitor Location Register</i>) Vierailijarekisteri.
WAP	(<i>Wireless Application Protocol</i>) Langattomien sovellusten protokolla.
W-CDMA	(<i>Wideband -Code Division Multiple Access</i>) UMTS-tekniikan radiorajapinnalla toimiva laajakaistainen koodijakokanavointijärjestelmä, joka mahdollistaa nopeamman pakettidatasiiirron.
WiMAX	(<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>) Langaton laajakaistatekniikka, joka perustuu avoimeen 802.16 standardiin. WiMAX 2 on saman tekniikan seuraava sukupolvi.
WLAN	(<i>Wireless Local Area Network</i>) Langaton lähiverkkotekniikka.

1 JOHDANTO

Ensimmäisten langattomien teknologioiden käyttöönoton jälkeen kuluttajien kasvaneet tarpeet etenkin tiedonsiirron osalta, ovat vaikuttaneet siihen, että teknologiat ja päätelaitteet kehittyvät kiihtyvällä vauhdilla. Vielä muutama vuosikymmen sitten langattoman viestinnän tiedonsiirtotarpeet liittyivät lyhyisiin tekstiviesteihin. Tämän päivän kuluttajat käyttävät yhteyksiään videopalavereiden pitämiseen, HDTV-laatuisten televisiolähetysten katselamiseen sekä mitä erilaisimpien sovellusten käyttämiseen. Tiedonsiirron määrällisen kasvun sekä tiedonsiirron laatuvaatimusten lisäksi verkoilta odotetaan saumattomuutta liikuttaessa niiden sisällä ja niiden välillä. Hyvinä esimerkkeinä saumattomuuden odotuksista ovat tilanteet, joissa liikutaan työpaikan WLAN-yhteyden kantaman ulkopuolelle teleoperaattorin ylläpitämään verkkoon, tai matkustetaan ulkomaille vieraan valtion alueella operoivaan verkkoon. Kaikki nämä vaatimukset ovat vaikuttaneet suoraan sekä verkkojen teknologioiden, että päätelaitteiden huijaan kehitykseen muutamana viimeisen vuosikymmenen aikana.

Tässä opinnäytetyössä paneudutaan langattomien verkkojen toimintaan ja erityisesti tiedonsiirron tekniikoihin. Lisäksi esitetään päätelaitteella yhteyksistä saatavissa olevaa tietoa ja yhteyksien testaamista. Tässä työssä keskitytään pääasiassa nykyisin käytössä oleviin niin sanotun GSM-suvun tekniikoihin 2G:stä 4G:hen, joiden yhteyksiä voidaan tarkastella. Kuvassa 1 on esitetty näiden tekniikoiden kehitys vaiheittain. Työn ohessa suoritetut mittaukset on tehty kuitenkin vain LTE-tekniikan verkosta mahdollisten sekaannusten välttämiseksi.



Kuva 1. Langattomien teknologioiden evoluutio tiedonsiirron osalta. Kuvassa teknologian alapuolella teknologian nopeus, sekä käyttämä modulaatio. (Vasco Elvas 2013.)

2 LANGATTOMAT VERKOT

Langattomien päätelaitteiden käyttäminen edellyttää olemassa olevaa runkoverkkoa sekä radioliityntäverkkoa, joihin päätelaitteella yhteys muodostetaan vastaavalla tavalla kuin päätelaitteella kytkäydään sähköisesti kaapelilla verkkoon. Erona tässä on se, että langattomasti kytkettyä laitetta voidaan vapaasti liikuttaa verkon sisällä ilman yhteyden katkeamista.

2.1 Langattomien verkkojen jako maailmanlaajuisesti

Yhden valtion alueella voi toimia useita verkkoja, joista monet eivät ole kuluttajien saatavilla, kuten esimerkiksi viranomaisten käyttämät omat verkkonsa. Tietyn valtion alueella toimivilla verkoilla on oma maakohtainen tunnisteensa (*MCC*) ja tämä tunniste on esimerkiksi Suomessa 244 (ITU MNC 2013). Tunnisteessa ensimmäinen luku kertoo karkeasti maanosan, jossa verkko toimii, tässä 2 on Eurooppa ja 3 on Pohjois-Amerikka ja niin edelleen. Poikkeuksen näissä muodostaa koodi 901, joka ei kohdistu mihinkään tiettyyn valtioon, vaan identifioi palveluita, jotka ovat maailmanlaajuisesti saatavilla. Listaus perustuu Kansainvälisen televiestintäliiton (*ITU*) standardoimaan järjestelmään, joka erottelee eri valtioiden alueilla operoivat verkot toisistaan. (insys-icom n.d.) *MCC*-tunnistetta ei pidä sekoittaa soitettaessa käytettyyn kansainväliseen maakoodiin, joka esimerkiksi Suomessa on +358 (countrycode.org n.d.). *MCC*-tiedot näkyvät myös päätelaitteella ja löytyvät esimerkiksi liitteen 1 taulukon yläpuolella olevista verkkoa yksilöivistä tiedoista.

2.2 Verkkojen jako valtiokohtaisesti

Valtion sisäisesti voi toimia useita eri operaattoreita, ja näillä jokaisella voi olla useita rinnakkaisia langattomia verkkoja. Kaikki verkot ovat yhteydessä toisiinsa sekä perinteiseen lankapuhelinverkkoon. Tällä mahdollistetaan yhteyksien muodostus eri operaattoreiden verkoissa toimivien päätelaitteiden välillä. (Rouse 2010a.) Jokaisella operaattorilla on myös omille verkoilleen verkkotunnisteensa (*MNC*), tai niitä voi olla jopa useita. Suomessa kaupallisesti toimivilla operaattoreilla näitä ovat esimerkiksi DNA 03 tai 12, ELISA 05 tai 21 sekä TeliaSonera 91. Yhdistämällä maakohtaisen koodin sekä verkkokohtaisen koodin muodostetaan kotiverkon tunniste (*HNI*), joka olisi esimerkiksi Elisan verkossa operoitaessa 24405 tai 24421. Tätä koodia päätelaitteet käyttävät kotiverkon operaattorin tukiasemien tunnistamisessa ja kulloinkin käytetty verkko näkyy käytetyn päätelaitteen tiedoissa. (*MCC-MNC* 2015.) *MNC*-tiedot näkyvät myös päätelaitteella, ja löytyvät myös liitteen 1 taulukon yläpuolella olevista verkkoa yksilöivistä tunnistetiedoista.

Poistuttaessa kotiverkon alueelta, esimerkiksi ulkomaille matkustettaessa, päätelaitteen verkon valinta tapahtuu sen mukaisesti, millä operaattorilla on voimakkain signaali vastaanotettavissa ja verkkovierailu kyseisen operaattorin verkkoon on sallittu. Tämä tietysti edellyttää, että kotiverkon operaattorilla on verkkovierailut mahdollistava sopimus kohdemaan operaattorin verkkojen käytöstä. Kotiverkon tunnisteeseen perään lisättäessä pää-

telaitteen liittymän yksilöivä tunnistenumero (*MSIN*), muodostuu jokaisen verkkoon liitettävän päätelaitteen yksilöivät IMSI-tunnisteet. IMSI-koodilla päätelaitteet tunnistetaan niiden muodostaessa yhteyden verkkoon, ja lisäksi tunnisteella verkko seuraa päätelaitteen verkossa liikkumista. Numero on liittymäkohtainen ja operaattori toimittaa sen SIM-kortin mukana. (Janssen 2015.) IMSI-tunniste on myös nähtävissä testiovelluksella kuten liitteessä 2. Testatun liittymän yksilöivät tiedot kuitenkin on peitetty.

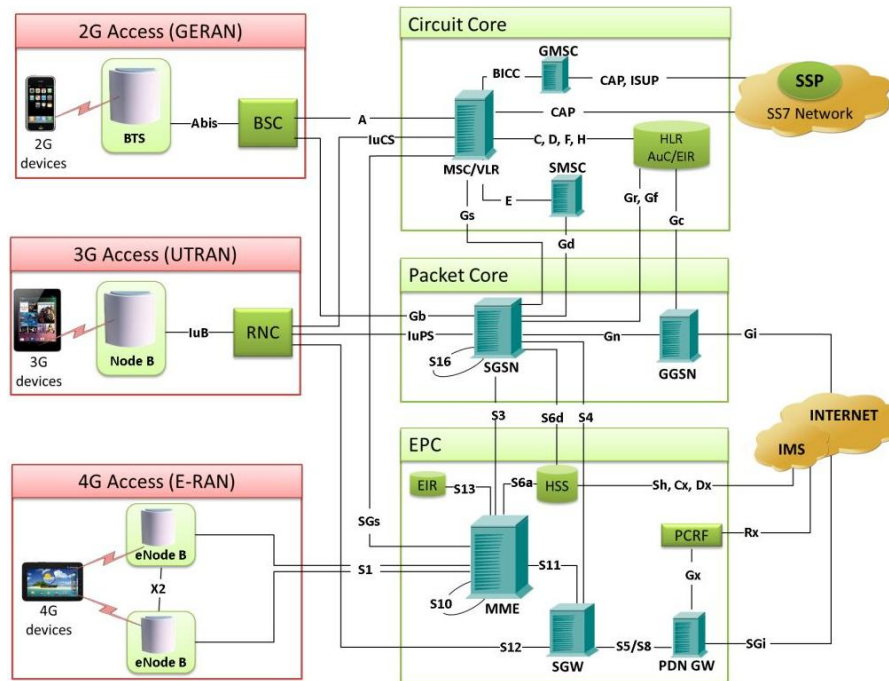
2.3 Verkkojen sisäiset segmentit

Kaupallisten operaattoreiden radioliityntäverkot jakautuvat sisäisesti paikallisiin segmentteihinsä, ja jokaisella segmentillä on myös omat tunnisteensa (*LAI, LAC*). Näitä tunnisteita verkko käyttää päätelaitteen sijainnin määrittämiseen seuratakseen millä alueella verkossa päätelaitetta käytetään. LAI-koodi muodostuu MCC-, MNC- ja LAC-koodien yhdistelmästä (ETSI, 2011). Jako LAC-alueisiin tapahtuu radioverkon ohjaimien kautta siten, että saman ohjaimen alueella toimivat tukiasemat jakavat saman LAC-tunnisteen keskenään. Yhden ohjaimen alle voi periaatteessa kuulua jopa satoja tukiasemia. Samaan radioverkon ohjaimeen liitetyt tukiasemat lähettävät tätä tietoa sitä varten varatulla BCCH-kanavalla. Päätelaitteet tunnistavat tämän signaalin ja tallentavat tiedon SIM-kortille. Tietoa päivitetään sitä mukaa, kun päätelaite liikkuu verkon alueella. Esimerkiksi GSM-tekniologiassa LAC-koodi koostuu 16 bitistä, joka mahdollistaa yhden verkon jakamisen 65536 alueeseen. (TrewMTE 2010.) Suurissa LAC-alueissa, joissa on paljon käyttäjiä ja sitä kautta liikennemäärät ovat suuria, kuluu verkon tiedonsiirtokapasiteettiä siihen, kun jokaisen päätelaitteen hakupyynnöt välitetään kaikille alueen tukiasemille. Päätelaitteiden virrankulutus kasvaa, kun ne kuuntelevat näitä hakuja, vaikka eivät vastaisikaan niihin. Pienemmällä LAC-alueilla taas vähäiset liikennemäärät lisäävät päätelaitteiden virrankulutusta sillä, että laitteet joutuvat lähettämään aika ajoin tukiasemalle yhteyden herättelyviestiä, mikäli tukiasemalta ei kuulu mitään. LAC-alueiden kokoja optimoimalla pystytäänkin vaikuttamaan verkkojen tiedonsiirron kapasiteettiin sekä päätelaitteiden virrankulutukseen. Tehdyn testikierroksen aikana vaihtuneita LAC-alueita voi tarkastella liitteen 1 taulukossa. Kulloinkin palvelevan solun LAC-tunniste näkyy kuitenkin liitteen 2 grafiikan alapuolella.

2.4 Radioliityntäverkko

Radioliityntäverkot, joiden teknologioiden väliset erot ovat nähtävissä kuvassa 2 (s. 4), sisältävät tukiasemaohjaimet sekä tukiasemat. Tukiasemaohjaimet 2G:llä (*BSC*) tai 3G:llä (*RNC*) toimivat radioliityntäverkossa eräänlaisena älynä, ja ne hoitavat radiokanavien sekä taajuuksien allokointia yhteyksien siirtyessä tukiasemalta toiselle, keräävät tukiasemilta mittausdataa (*NMR*) sekä hoitavat tukiasemien resurssien jakamista muodostettaessa tiedonsiirto- tai puheyhteyttä. Ohjaimella lähetettävä data koodataan ennen sen lähettämistä eteenpäin runkoverkkoon. Vastaavasti koodaus puretaan ennen sen toimittamista päätelaitteelle. Ohjain toimii verkossa keskittimenä, jossa useat erilaiset

pienen kapasiteetin yhteydet tukiasemiin kutistetaan pienemmäksi määräksi yhteyksiä kohti mobiilivaihdetta (*MSC*) tai GPRS-yhteyttä käytettäessä pakettikytkentäiseen runkoverkkoon (*SGSN*). Käytännössä liikenne verkossa kulkee UL-suunnassa päätelaitteelta tukiasemalle ja sieltä ohjaimelle, jonka kautta mobiilivaihteeseen. DL-suunnassa sama toimii päinvastoin. (Tuominen 2002.)



Kuva 2. 2G, 3G ja 4G radioliityntäverkkojen arkkitehtuurit. (GL Communications 2015.)

Jokaisella radioverkon ohjaimella voi olla ohjattavanaan kymmeniä, tai jopa satoja tukiasemia. Jokaisessa tukiasemassa voi myös toimia useampia soluja, joiden kautta varsinainen päätelaitteen yhdistäminen verkkoon tapahtuu. Soluilla on myös omat yksilöivät solutunnisteensa (*CI*), ja yhteyksiä testattaessa tunnisteella voidaan identifioida solu, jossa mahdollisia yhteyden häiriöitä ilmenee. Solutunnisteen viimeinen numero voi viitata tukiaseman sisäiseen sektorijärjestykseen. Esimerkiksi 0 voi viitata yksisoluisen tukiasemaan, kuten sisäverkko tai ympärisäteilevä antenni. Lukuja 1, 2 ja 3 käytetään kaksi tai useampisektorisissa tukiasemissa. UMTS-teknologian verkoissa solutunniste voi esiintyä kahdella eri tavalla, vaikka kyse on samasta asiasta. CID tai vastaavasti LCID eroavat toisistaan vain siten, että CID esittää ainoastaan solun tunnistenumeron ja LCID näyttää ketjutettuna ohjaimen tunnisteeseen RNC-ID (kaksi bittiä) sekä CID (neljä bittiä). Kyseessä on kuitenkin sama yksilöivä solutunniste, eikä ohjaimen tunniste ole välttämätön. Radioverkonohjain on kytketty useisiin tukiasemiin, eikä sinällään ole solun yksilöinnin kannalta oleellinen. GSM- ja CDMA-teknologioiden verkoissa solutunniste voi vaihdella välillä 0 ja 65535. UMTS- sekä LTE-teknologioiden verkoissa vaihteluväli on 0 ja 268435455. (Mozilla Cell Records 2015.)

Liitteen 1 taulukossa on nähtävissä osa testatuista soluista tunnisteineen. Taulukon sarakkeessa Node nähdään tukiaseman tunniste, ja sen perässä

oleva CI-sarake kertoo palvelevan sektorin tunnisteiden. Lisäksi kohdat, joissa solujen väliset siirtymät tapahtuivat, voidaan nähdä liitteen 5 kartassa. Liitteen 2 grafiikassa nähdään eri väreinä palvelevan tukiaseman vaihdokset.

3 TEKNOLOGIAT

Langattomien tekniikoiden historian katsotaan alkaneen niin sanottua nol-latta sukupolvea edustavasta ARP-tekniologian verkosta, joka otettiin käyt-töön 1970-luvulla. Näissä verkoissa ei yhteyden siirtyminen tukiasemien välillä toiminut vielä automaattisesti, ja tästä onkin tultu kehityksessä huomattavasti eteenpäin. Tämän jälkeen on noin kerran vuosikymmenessä tuotu markkinoille uusia kehittyneempiä teknologioita kuluttajien käyt-töön. 1980-luvulla tuli ensimmäisen sukupolven NMT, joka mahdollisti jo yhteyden siirtymisen automaattisesti tukiasemien välillä ja lisäksi verkko-vierailut esimerkiksi liikuttaessa ulkomailla. 1990-luvulla markkinoille tu-livat toisen sukupolven GSM-tekniologia, GPRS- ja EDGE-laajennuksineen. Ensimmäisenä digitaalisena teknologiana GSM mahdol-listi pienimuotoisen tiedonsiirron, kuten lyhyet SMS-tekstiviestit ja nyky-mittapuun mukaan erittäin hitaan Internet-yhteyden. Vuosituhannen vaihteessa saatiin markkinoille kolmannen sukupolven UMTS-tekniologia HSPA-laajennuksineen, jotka oli kehitetty nopeamman tiedonsiirron tar-peisiin. Nykyisin 2010-luvulla, operaattorit rakentavat edelleen nopeampia yhteyksiä tarjoavia neljännen sukupolven LTE-tekniologian verkkoja. Vii-dennen sukupolven tekniikkaa ei varsinaisesti ole vielä kaupallisessa käy-tössä missään, vaan sitä kehitetään koko ajan ja laitevalmistajat testaavat tekniikoita ympäri maailmaa. Varmasti voidaan sanoa, että pyrkimys olisi kasvattaa tiedonsiirron nopeuksia edelleen huomattavasti verrattuna edelli-siin sukupolviin.

Nykyisin on käytössä useita rinnakkaisia langattomia teknologioita ja tämä edellyttää, että operaattoreilla on myös useita rinnakkaisia verkkoja. Van-himmat tiedonsiirtoon edelleen käytössä olevat teknologiat, ovat toisen sukupolven GSM-verkon kautta tapahtuvaan tiedonsiirtoon tarkoitettut GPRS- ja EDGE-tekniologiat. GSM on saavuttanut maailmanlaajuisen suosion, mutta sillä on edelleen kilpailijoita. Kolmannen sukupolven no-peampaan tiedonsiirtoon kehitetyt WCDMA ja HSPA mahdollistavat edel-täjiään nopeampaa tiedonsiirtoa. Viimeisimpänä on käyttöön otettu niin sa-nottuja neljännen sukupolven LTE- ja WiMax-tekniologioiden verkkoja, vaikka WiMaxista ollaan ilmeisesti luopumassa ainakin Suomessa. Näistä kumpikaan ei vielä yllä neljännen sukupolven verkoille asetettuihin stan-dardeihin, jotka tiukalla tulkinnalla edellyttävät 1 Gbps:n latausnopeuksia. Näistä kehittyneet LTE Advanced sekä WiMax 2 sen sijaan yltyvät, ja täst-ä syystä niitä pidetäänkin todellisina neljännen sukupolven edustajina. Li-säksi langattomien palveluiden verkkoihin voitaneen laskea paikalliset WLAN-verkot, sillä nykyisin edellytyksenä on, että päätelaitteiden tiedon-siirtoliikenne voidaan siirtää kulkemaan myös niiden kautta saumattomasti ilman katkoja. (Shripad & Prasanna 2009.) Taulukossa 1 (s. 6) on esitetty näiden tekniologioiden tiedonsiirtonopeuksien kehitys.

Taulukko 1. Teknologioiden evoluutio, ja saavutetut latausnopeudet (Marius 2012)

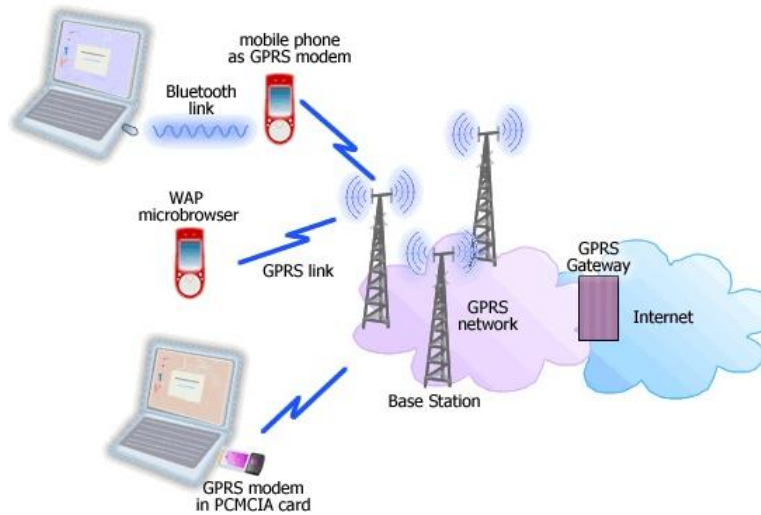
	Standard	Download	Upload
2.5G	GPRS	114 Kbps	20 Kbps
2.75G	EDGE	384 Kbps	60 Kbps
3G	UMTS	384 Kbps	64 Kbps
	W-CDMA	2 Mbps	153 Kbps
	HSPA 3.6	3.6 Mbps	348 Kbps
	HSPA 7.2	7.2 Mbps	2 Mbps
Pre-4G	HSPA 14	14 Mbps	5.7 Mbps
	HSPA+	56 Mbps	22 Mbps
	WiMAX	6 Mbps	1 Mbps
	LTE	100 Mbps	50 Mbps
4G	WiMAX 2	1 Gbps	500 Mbps
	LTE Advanced	1 Gbps	500 Mbps

3.1 Toisen sukupolven teknologiat

Puhuttaessa toisen sukupolven teknologioista tarkoitetaan lähinnä GSM-teknologiaa, joka on maailmanlaajuisesti ylivoimaisesti suosituin. Edeltäjistään toisen sukupolven tekniikat eroavat siinä, että ne ovat ensimmäinen digitaalinen sukupolvi. Alkuun toisen sukupolven teknologioilla ei ollut tiedonsiirtomahdollisuutta käytössä, vaan siihen lisättiin jälkepäin tiedonsiirron mahdollistavat tekniikat kuten GPRS ja EDGE. (Tipper n.d.)

3.1.1 GPRS

GPRS (*General Packet Radio Service*) on langaton tiedonsiirtostandardi, joka on käytössä toisen ja kolmannen sukupolven niin sanotuissa GSM-sukuun kuuluvissa tiedonsiirtoverkoissa, ja teknologian katsotaan edustavan sukupolvea 2,5G. Teknologia mahdollistaa Internet-yhteyden muodostamisen, joko matkapuhelimella, matkapuhelinta verkkosovittimena käyttäen tai muulla GPRS-verkkosovittimella, kuten kuvassa 3 (s. 8). Teoriasa teknologia mahdollistaa 170 kbps:n latausnopeudet verkosta päätelaitteelle, vaikka normaalitasot ovat noin 40 kbps:n tasolla. Nykytekniikoihin verrattuna myös vasteajat ovat tekniikalla korkeat, eli teknologian verkoissa vasteajat ovat noin 400 ms. Tämä tekniikka toimii nykyisin uusimmisakin laitteissa, lähinnä silloin kun nopeampia kolmannen tai neljännen sukupolven yhteyksiä ei ole saatavilla.



Kuva 3. GPRS-verkon rakenne, joka mahdollisti Internet-yhteyden muodostamisen mobiiliverkon kautta päätelaitteelle. (conniq.com n.d.)

GPRS:n käytön huomaa helpoiten päätelaitteelta yhteyden hitaudesta. Pii-rikytkentäisen tiedonsiirtoyhteyden (*CSD*) ja pakettikytkentäisen GPRS-yhteyden erona on, että GPRS-yhteys voi olla jatkuvasti kytkettynä verkkoon kuormittamatta kuitenkaan verkon tiedonsiirtokapasiteettia muulloin kuin tietoa siirrettäessä. Aikanaan GPRS-tekniikalla tiedon siirtäminen oli suhteellisen kallista, sillä siitä veloitettiin siirretyn datamäärän mukaan. Nykyisin operaattorit kuitenkin tarjoavat liittymäsopimuksia, joissa kuukausimaksuun sisältyy ennalta määritelty määrä dataa. Matkustettaessa ulkomaille toisen operaattorin verkon alueelle hinnat datansiirrosta saattavat edelleen olla huomattavia. (Hoff, Meyer & Schieder 1998.)

3.1.2 EDGE

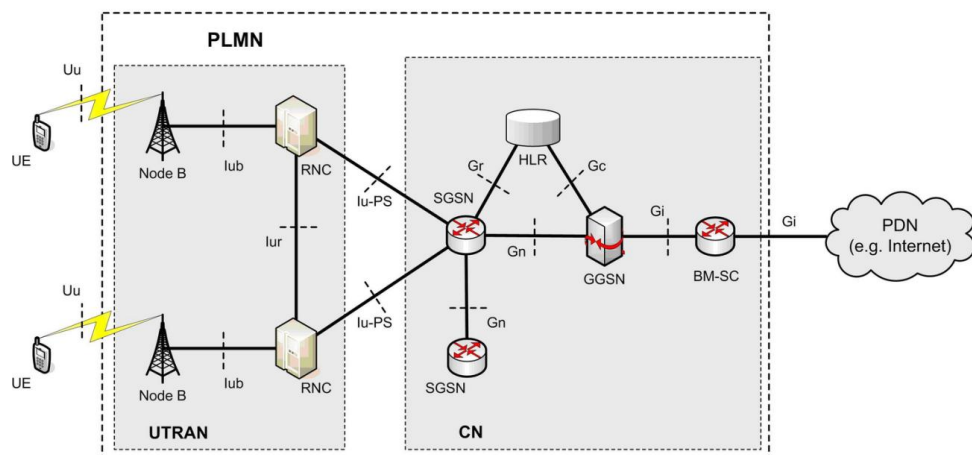
EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) on pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu teknologia ja perustuu GPRS-teknologiaan, joka taas on GSM-verkoissa tiedonsiirtostandardi. EDGE on 3GPP järjestön kehittämä ja siitä käytetään myös nimitystä EGPRS (*Enhanced GPRS*). Käytännössä kyseessä on GSM-teknologian laajennus ja sen katsotaan edustavan sukupolvea 2,75G, joka ei tiedonsiirtonopeuksiltaan yllä vielä 3G tasolle. Kaupalliseen käyttöön teknologia on otettu vuonna 2003 ja vuonna 2010 GSM-, tai EDGE-verkkoja on ollut maailmassa 487 kappaletta. EDGE-standardi mahdollistaa 236,8 kbps:n latausnopeudet, mikäli käytössä on neljä aikaväliä, á 59,2 kbps per aikaväli. Teoriassa myös on mahdollista saavuttaa 473,6 kbps:n latausnopeus, mutta tämä edellyttää että yhteydelle saadaan kahdeksan aikaväliä käyttöön. Todellisuudessa nopeudet käyttäjillä ovat keskimäärin noin 180 kbps lataussuunnassa sekä lähetyssuunnassa 120 kbps. Perustason GPRS-teknologiaan verrattuna nopeus kasvaa kuitenkin noin kolme-, neljäkertaiseksi. Keskimäärin saavutetut latausnopeudet eivät yllä vielä kolmannen sukupolven edellyttämälle tasolle. (Ainscough 2001.)

3.2 Kolmannen sukupolven mobiiliteknologiat,

Kansainvälisen televiestintäliiton, telekommunikaatio sektorin (ITU-T) standardien mukaan, kolmannen sukupolven teknologioihin (3G) luetaan verkot, jotka tukevat 2G-teknologioihin verrattuna suuria bittinopeuksia, vähintään kuitenkin 200 kbps. 3G-teknologian verkot mahdollistavat puheensiirron ja langattoman Internet-yhteyden lisäksi videopuhelut ja mobiilitelevision käytön. Samalla tavoin kuin toisen sukupolven tekniikoiden kanssa, on kolmannen sukupolven teknologioita myös päivitetty. Näiden päivitysten ansiosta teknologia mahdollistaa useiden Mbps:n siirtonopeudet, esimerkiksi älypuhelimille ja langattomille modeemeille. (Rouse 2009.)

3.2.1 UMTS

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) on kolmannen sukupolven langattomien päätelaitteiden tiedonsiirtoteknologia GSM-standardiin pohjautuville tiedonsiirtoteknologioille. Standardit on 3GPP:n kehittämiä ja ne on kehitetty pääasiassa nopeampia tiedonsiirtoyhteyksiä silmälläpitäen. Verkon arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 4. UMTS-teknologian perustiedonsiirtonopeudet, 3GPP:n luoman Release 99-version tasollakin, ovat 384 kbps. Ne ovat huomattavasti nopeampia kuin toisen sukupolven tarjoamat GPRS- tai EDGE-teknologioiden mahdollistamat yhteysnopeudet. (Rouse 2006.)

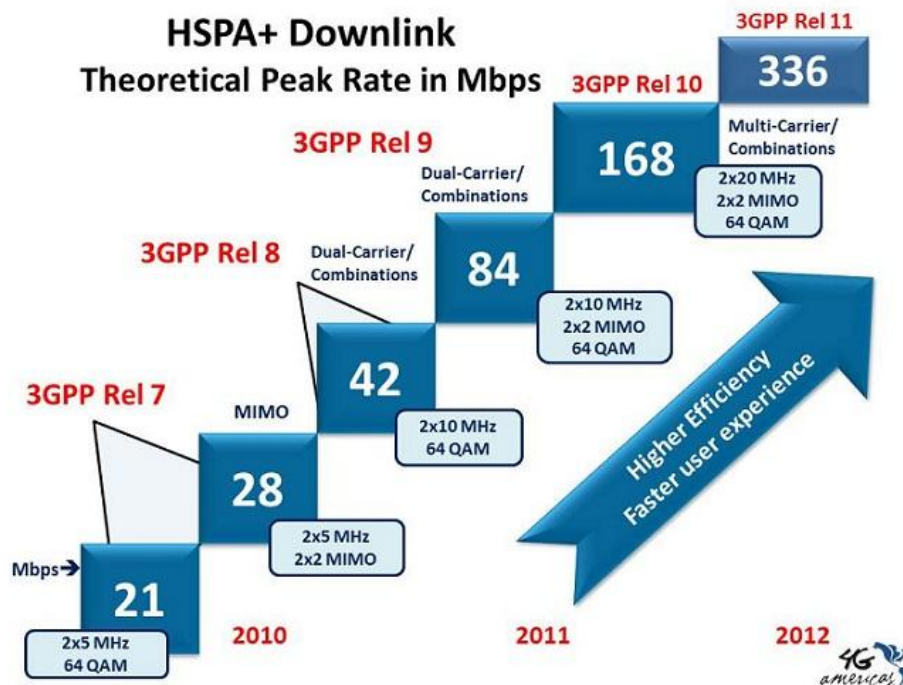


Kuva 4. UMTS-verkon arkkitehtuuri. (Sharma 2015.)

3.2.2 HSPA

HSPA (*High Speed Packet Access*) on langattomaan tiedonsiirtoon tarkoitettu protokollakokoelma ja UMTS-teknologian laajennus, joka koostuu tällä hetkellä kolmesta erillisestä protokollasta, HSDPA 3,5G, HSUPA 3,75G sekä HSPA+, joilla saadaan lisää nopeutta molempiin, lähetys- sekä lataussuuntiin kulkevaan tiedonsiirtoon. Mikäli päätelaitteet, sekä verkko jossa toimitaan, ovat HSPA yhteensopivia, ja ladattavan tai lähetettävän datan määrä ylittää verkkoon asetetun kynnyksen, siirtyy siirtoyhteys automaattisesti käyttämään näitä tekniikoita. Nopeuden kasvun lisäksi myös

vasteaika kutistuu murto-osaan perustason UMTS-yhteyden Release 99 -version vasteajoista. Kun tiedonsiirto ei ole aktiivisessa tilassa, myös HSPA-yhteensopivat päätelaitteet tippuvat automaattisesti perustason hitaammalle Release 99 -version kanavalle, jotta muille käyttäjille jää enemmän verkon kapasiteettia käyttöön. (Wanstrom n.d.) HSPA+ tekniikan Release 11 mahdollistaa jo 336 Mbps:n latausnopeudet päätelaitteille, kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. HSPA teknologian lataussuunnan tiedonsiirtonopeuksien kehitys 3GPP:n julkaisemien release versioiden mukaan. (4G Americas n.d.)

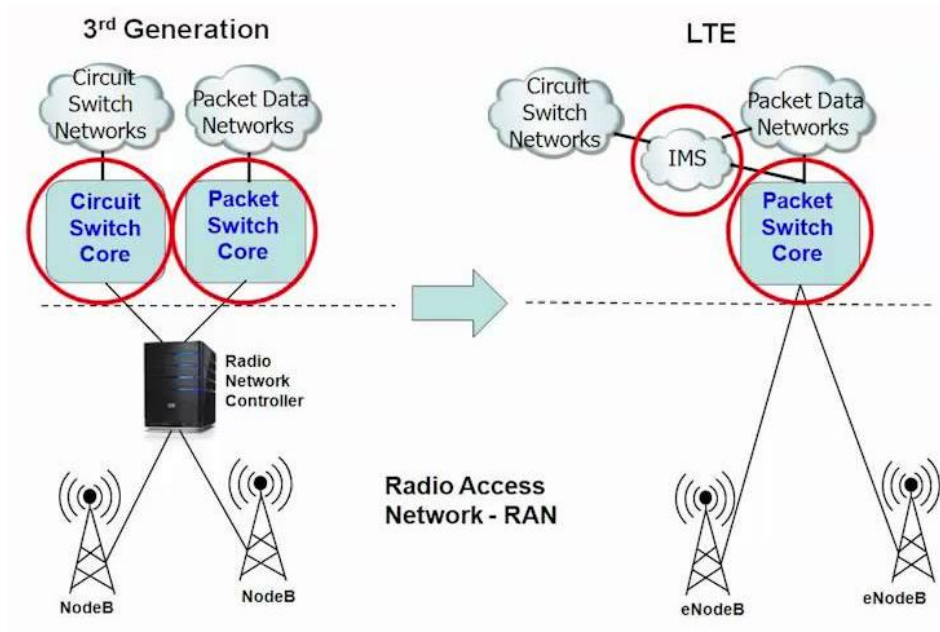
3.3 Neljännen sukupolven mobiiliteknologiat LTE, 4G

Kahdesta eri teknologisesta ratkaisusta, LTE:stä ja WiMaxista, voidaan käyttää neljännen sukupolven tekniikan nimitystä. Nämä eivät yllä ITU-T:n asettamiin standardeihin neljännessä sukupolvesta, vaan perustuvat kolmannen sukupolven perustekniikkaan ja niiden laajennuksien käyttöön. 4G-ilmaisun käyttäminen on kuitenkin katsottu oikeutetuksi myös näissä tapauksissa, sillä edeltäviin sukupolviin verrattuna ovat yhteysnopeudet silti suurempia. (Rouse 2010b.)

LTE (*Long Term Evolution*) on langattoman tiedonsiirron standardi, jonka kehitys perustuu GSM- ja UMTS-standardeille. LTE tunnetaan myös toisella nimellä E-UTRAN. LTE-teknologian pyrkimys on kasvattaa langattomien verkkojen kapasiteettia ja tiedonsiirron nopeutta uusilla digitaalisella signaalin prosessoinnin (*DSP*) teknologioilla ja modulaatioilla. Lisäksi verkkojen arkkitehtuuria parannettiin uudella IP-tekniikkaan pohjautuvalla järjestelmällä, joka nopeuttaa tiedonsiirtoa verrattuna kolmannen sukupolven järjestelmiin. 4G:n langaton rajapinta ei ole yhteensopiva 2G- ja 3G-teknologioiden kanssa, ja se operoikin omalla langattomalla spektrillään. LTE-teknologia mahdollistaa latausnopeudeksi 150 Mbps ja lähe-

tysnopeudeksi 75 Mbps. Palvelun laadun varauksilla saadaan vasteajaksi radorajapinnalla alle 5 ms.

LTE toimii nopeasti liikuttaessa ja tukee lähetystä verkkoon sekä joukko-
lähetystä. LTE tukee skaalattavia kantaallon kaistanleveyksiä 1,4
MHz:n ja 20 MHz:n välillä, sekä tukee taajuusjakoista dupleksointia
(*FDD*) ja aikajakoista dupleksointia (*TDD*). IP-tekniikkaan perustuvan
verkon arkkitehtuuri (*EPC*) tukee saumattomia handovereita puheen-, sekä
tiedonsiirron osalta vanhempiin teknologioihin perustuviin verkkoihin, kun-
ten GSM ja UMTS. EPC onkin suunniteltu korvaamaan GPRS-
runkoverkkoa. Yksinkertaisempi verkon rakenne pienentää verkon ope-
rointikuluja, esimerkiksi jokainen LTE-solu pystyy käsittelemään neljä
kertaa tiedon- ja puheensirtoa verrattuna HSPA-teknologialla toteutettuun
verkkoon. (Belhoucet & Ebdelli 2010.) Fyysiset erot UMTS- ja LTE-
verkkojen arkkitehtuureissa on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. UMTS- ja LTE-verkkojen rakenteelliset erot (Shapira 2012.)

LTE-Advanced on teknologia, jota kutsutaan todelliseksi 4G:ksi, sillä se
täyttää muodollisesti 4G:lle ITU-T:n toimesta asetetut standardit, jotka
vaativat esimerkiksi teknologian ylittävän yhden Gbps:n latausnopeuden.
LTE Advanced ei ole vielä käytössä Suomessa, vaikka teknologian verk-
koja on jo muualla maailmassa otettu käyttöön. (Poole n.d.)

4 HANDOVER

Langattomuuden perusedellytys on, että päätelaite on vapaasti liikuteltavissa verkon sisällä eri paikkoihin ilman, että aktiiviset puhe- tai tiedonsiirtoyhteydet katkeavat. Prosessia, jossa yhteyttä siirretään kulkemaan eri reittiä, kutsutaan handoveriksi ja sen yleisin muoto on puhelun siirtyminen solusta toiseen päätelaitteen liikkussa. Yhteydet voivat liikkua tukiaseman sisäisesti, eri sektorien välillä (*intracell handover*) ja eri tukiasemien välillä (*intercell handover*). Samaa prosessia käytetään esimerkiksi satelliittien ohjauksessa, jolloin ohjaus siirretään maanpinnalla toiseen paikkaan ilman, että yhteys katkeaa. (Rohde-Schwarz 2003.)

4.1 Handoverin syyt

Syitä handoverin tapahtumiseen on useita, joista yleisin on päätelaitteen liikkuminen pois päin solun peittoalueelta kohti toisen solun peittoaluetta, josta vastaanottaa paremman signaalin. Kun parempi signaali on havaittu, lähetetään verkon ohjaimelle handover-pyyntö, jonka jälkeen aktiivinen puhe- tai tiedonsiirtoyhteys siirretään paremman signaalin omaavaan soluun. Mikäli solun kapasiteetti on täynnä, eli uusia yhteyksiä ei voida luoda, voidaan tukiaseman kapasiteetin vapauttamiseksi toisille käyttäjille, joilla yhteyttä toisiin soluihin ei ole, siirtää aktiivinen yhteys toiseen soluun, jos sellaisia on saatavilla. (Oxford University Press 2007.)

Aikajakokanavointi-, (*TDMA*) ja taajuusjakokanavointitekniologioiden (*FDMA*) verkoissa saattaa aiheutua häiriöitä yhteyksissä esimerkiksi tilanteissa, jossa vierekkäisissä soluissa on puhelut käynnissä samalla kanavalla. Tällöin voidaan puhelu siirtää toiselle kanavalle tai mahdollisesti kokonaan toiseen soluun toiselle kanavalle. Solunsisäinen *intracell handover* voi tapahtua siksi, että olemassa oleva yhteys siirretään häiriöttömämmälle kanavalle tai kanavalle, jolla on pienempi vaimennus. (Singal, T.L 2010.)

Lisäksi liikuttaessa esimerkiksi autolla voi yhteys kiihdytettäessä yli verkoon asetetun kynnysnopeuden siirtyä pienempikokoisesta solusta suurempaan ja liikkeen hidastuessa alle saman kynnysarvon, suuremmasta pienempään, niin sanottuun macrosoluun. Tällä vapautetaan suurempien solujen kapasiteettia niille, jotka liikkuvat nopeammin, sekä vähennetään mahdollisia häiriöitä suuremmista soluista tai muista yhteyksistä. Nopeasti liikkuvien yhteyksien siirtämisellä suurempikokoisiin soluihin saadaan aikaan myös tarvittavien handovereiden määrän pieneminen.

Koodijakokanavointitekniologian (*CDMA*) verkoissa voidaan handovereita tehdä mahdollisten häiriöiden vähentämiseksi. Yhteys voidaan myös siirtää pienempään naapurisoluun, vaikka kuuluvuus soluun, johon yhteys alun perin on muodostettu, olisikin erinomainen. Tämä johtuu erityisesti kyseisen tekniologian verkoissa esiintyvistä ”near-far”-efektistä, joka aiheutuu siitä, että verkon kaikilla tukiasemilla on käytössä samat taajuudet sekä siirtoajat. Efekti aiheuttaa sen, että mikäli olemassa oleva yhteys on muodostettu voimakkaammalla signaalilla, estää se päätelaitetta havaitsemasta heikompia signaaleita. (Kaarainen 2005.)

4.2 Handover-tekniikat

Handoverin ohjaus voidaan toteuttaa useammalla tavalla. Näistä yleisin on verkon ohjaama handover, jossa käytännössä radioverkon ohjain ohjaa toteutettavaa yhteyden siirtoa. Edellisen lisäksi myös päätelaitteen avustama, tai kokonaan ohjaama handover, ovat mahdollisia tapoja mutta vähemmän käytettyjä. Varsinaisia tekniikoita handoverin toteutukseen on kaksi, hard ja soft handover.

4.2.1 Hard handover

Hard handover toteutetaan fyysisesti katkaisemalla yhteys vanhaan soluun hetkeksi ennen uuden yhteyden muodostamista uuteen soluun. Tätä kutsutaan myös ”break-before-make”-handoveriksi. Ajatuksena hard handoverissa on, että uusi yhteys on välittömästi käytössä vanhan yhteyden katkettua yhteyden häiriöiden minimoimiseksi. Verkon ylläpidon kannalta hard handover vaatii vähemmän prosessointia. Kun päätelaite sijaitsee useamman tukiaseman peittoalueilla, samanaikaisesti, voi esimerkiksi puhelun aikana palveleva tukiasema vaihtua useitakin kertoja, ja se voi kulkea minkä tahansa alueen tukiaseman kautta. Yhteys saattaa jopa pallotella edestakaisin kahden tukiaseman solujen välillä. Hard handoverin etuna on, että aktiiviset yhteydet käyttävät aina vain yhtä kanavaa kerrallaan, mikä säästää tukiasemien kapasiteettia. Lisäksi solujen välisiin siirtymiin käytetty hetki on erittäin lyhyt, eikä normaalisti digitaalisten teknologioiden verkoissa ole käyttäjän havaittavissa. Vanhoissa analogisissa järjestelmissä, kuten NMT, yhteyden siirtymisen solujen välillä pystyi havaitsemaan taustalla kuuluvasta naksahduksesta tai muusta lyhyestä äänimerkistä.

Lisäetuna hard handoverissa ovat päätelaitteiden pienemmät valmistuskustannukset ja helpompi suunnittelu, koska päätelaitteiden ei tarvitse pystyä muodostamaan useita rinnakkaisia yhteyksiä. Haittapuolena tässä on tietenkin se, että mikäli yhteyden siirto ei syystä tai toisesta onnistukaan, voi yhteys häiriintyä tai jopa katketa kokonaan. Teknologioilla, joissa hard handover on käytössä, on olemassa myös proseduurit katkenneen yhteyden uudelleen muodostamiseen vanhaan soluun, mikäli siirto uuteen epäonnistuu. Tämäkään ei välttämättä ole aivan aukotonta eikä aina onnistu, jolloin yhteys katkeaa ja onnistuessaankin saattaa aiheuttaa häiriöitä yhteydessä. Hard handoverin toteutus taajuusjakokanavointi-, tai aika-, sekä taajuusjakokanavointia yhdistelevien (*TDMA/FDMA*) teknologioiden verkoissa tehdään vaihtamalla handoverin yhteydessä lähetys- sekä vastaanotto- taajuusparia. (Al-Rubiae, Ahmed & Al-Qurabi 2010.)

4.2.2 Soft handover

Toinen tekniikka yhteyden siirtoon on soft handover jossa kanava, johon vanha yhteys on muodostettu, säilyttää yhteyden ja sitä käytetään hetkellisesti rinnakkain uuden kanavan yhteyden kanssa solujen välillä liikuttaessa. Uusi yhteys muodostetaan ennen vanhan katkaisua ja tätä kutsutaan myös ”make-before-break”-handoveriksi. Aika jolloin useampia rinnakkaisia yhteyksiä käytetään voi olla minkä pituinen tahansa, ja verkonhal-

linnassa tämä näkyy yhteyden tilana. Hard handover taas näkyy lyhyenä tapahtumana yhteydessä.

Periaatteessa soft handoverin tapauksessa päätelaite voi olla yhteydessä verkkoon useampien solujen kautta samanaikaisesti, eli kolmeen, neljään tai vielä useampaan soluun. Muodostetuista yhteyksistä parhaan signaalin omaavaa kanavaa voidaan käyttää tiedon- tai puheensiirtoon millä tahansa hetkellä, tai sitten yhdistää useampaa saatavilla olevaa kanavaa paremman signaalin tuottamiseksi. Näistä jälkimmäinen on hyödyllisempää, ja kun yhdistämistä paremman signaalin tuottamiseksi käytetään sekä lähetys- että vastaanottosuunnassa, on kyseessä ”softer handover”. Softer handover edellyttää, että solut joista yhdistäminen suoritetaan, ovat yhden solun tukiasemia. Soft handoverin etuna suhteessa hard handoveriin on, että yhteyksien katkeamisen todennäköisyys on huomattavasti pienempi, koska uuden luotettavan yhteyden muodostus ei edellytä vanhan katkaisua. Käytännössä soft handover-tekniikassa on useita rinnakkaisia yhteyksiä käytössä. Yhteyden katkeaminen voisi tapahtua ainoastaan, silloin kun kaikkien kanavien, joiden kautta yhteys on muodostettu, häiriintyisivät tai vaimenisivat samanaikaisesti. Normaalityössä eri soluissa sijaitsevien eri kanavien vaimenemiset ja häiriöt eivät ole tekemisissä keskenään, ja siten niiden ilmenemisen mahdollisuudet ovat verrattain pienet.

Soft handover mahdollistaa luotettavampia yhteyksiä. Soluista koostuvissa verkoissa suurin osa handovereista tapahtuu solujen reuna-alueilla, joissa on heikko kuuluvuus tai joissa yhteydet ovat muutoin epäluotettavia mahdollisten häiriöiden tai vaimennusten takia. Erityisesti tällaisille alueille soft handover -tekniikka mahdollistaa luotettavimmat yhteydet, koska sillä pystytään minimoimaan häiriöiden ja vaimennusten vaikutuksia. Haittapuolena soft handoverissa on tietysti se, että se vaikuttaa suoraan päätelaitteiden hintoihin. Päätelaitteilta vaaditaan huomattavasti enemmän kapasiteettia prosessoida samanaikaisesti useita rinnakkaisia yhteyksiä. Myös verkon puolelta vaatimukset kapasiteetin osalta kasvavat, sillä useiden rinnakkaisten yhteyksien samanaikainen käyttö kuluttaa kapasiteettia muilta käyttäjiltä. Verkon toimintaa voidaankin tasapainottaa säätämällä aikaa, jona useampia yhteyksiä on samanaikaisesti käytössä, sekä alueiden kokoa, joilla soft handover on käytössä. Tällä tavoin verkonohjauksella voidaan parantaa yhteyksien luotettavuutta suhteessa verkon kapasiteettiin.

Teoriassa soft handover on toteutettavissa millä tahansa, analogisella tai digitaalisella teknologialla. Analogisissa teknologioissa todennäköisesti hinta muodostuisi kohtuuttoman korkeaksi, eikä kaupallisesti menestyneillä teknologioilla, kuten NMT Suomessa, ole ollut tätä käytössä. Myös digitaalisilla taajuusjakokanavointiin perustuvilla teknologioilla päätelaitteiden hinta kohoaisi, koska ne vaativat useampia rinnakkaisia radiotaajuusmoduuleja. Aikajakokanavointia, tai aika-/taajuusjakokanavointia yhdistelevillä tekniikoilla, kuten Suomessa GSM, soft handover -toteutus voisi olla edullisempi, vaikka toisen sukupolven teknologioille ei ole soft handover -ominaisuutta otettu käyttöön. Koodijakokanavointia hyödyntävissä verkoissa, kuten UMTS Suomessa, soft handover -mahdollisuus on olemassa. Kolmannen sukupolven teknologiat mahdollistavat edullisempien

soft handoveriin kykenevien päätelaitteiden suunnittelun, ja toisaalta soft handover pienentää myös koodijakokanavointiteknologian ongelmana olevan ”near-far”-efektin vaikutuksia. Kun päätelaite pystyy muodostamaan useita yhteyksiä rinnakkain, tämän ongelman merkitys pienenee. LTE-teknologialla ei soft handover -toteutusta ole otettu käyttöön, koska verkon rakenne on kevyempi. LTE-verkossa ei myöskään ole ohjainelementtiä, jolla ohjattaisi soft handoverien toteutusta. Myöskään tehonsäädölle ei LTE:llä ole vastaavaa tarvetta kuin UMTS-teknologialla. (Kumawat & Tailor 2013.)

4.3 Solujen naapuruuDET

Soluista muodostetuissa verkoissa jokaiselle solulle on käytännössä ennalta määritelty lista mahdollisista soluista, joihin handovereita voidaan suorittaa. Tämän listauksen soluja kutsutaan naapureiksi ja listausta naapurilistaukseksi. Listan luominen ei ole kovinkaan triviaalia ja sitä varten onkin olemassa omia ohjelmistoja, jotka käyttävät erilaisia algoritmeja. Ohjelmistot voivat käyttää lisäksi kenttämittauksilla kerättyä dataa, tai tietokoneella laskettuja ennusteita radioaaltojen etenemisestä solujen peittoalueella ja näiden perusteella muodostaa solukohtaisen naapuruuslistauksen.

Kun yhteys on aktiivinen, joitain signaalin parametreja yhteyden käyttämällä kanavalla monitoroidaan mahdollisen handoverin tarpeen määrittämiseksi. Monitorointi voi tapahtua joko lähetys- tai vastaanottosuunnassa tai molempiin suuntiin. Handover-pyyntöä voi lähettää joko päätelaite tai tukiasema. Joissain järjestelmissä pyyntöä voi lähettää myös naapurisolun tukiasema. Päätelaite, sekä naapurisuuden muodostavien solujen tukiasemat, monitoroivat toistensa signaaleita. Näiden monitorointien perusteella valitaan parhaat solut handoverin suorittamiseen. Joissain järjestelmissä, kuten esimerkiksi koodijakokanavointiin perustuvissa, handover voidaan myös suorittaa soluun, joka ei ole naapurilistauksessa. Tämä johtuu pyrkiyksistä aiemmin mainitun ”near-far”-efektin aiheuttamien häiriöiden mahdollisuuksien pienentämiseen. (Nguyen & Claussen 2010.)

4.4 Handoverin kriteerit

Analogisissa järjestelmissä handover-pyyntöä kriteerit ovat yleensä vastaanotetun signaalin taso ($RxLev$) ja signaalikohinasuhde (SNR). Signaalikohinasuhdetta arvioidaan analogisessa järjestelmässä lisäämällä signaaliin lähettimellä ylimääräisiä ääniä, jotka ovat kuulotaajuusalueen ulkopuolella, ja arvioidaan niiden muotoa vastaanottimen päässä. Toisen sukupolven digitaalisissa aika- ja taajuuskanavointia yhdistelevissä järjestelmissä kriteerit handover-pyyntöön voivat perustua edellisten lisäksi bittivirheiden määrään (BER), virheellisten kehysten määrään ($BLER$), vastaanotetun signaalin laatuun ($RxQual$), sekä tukiaseman ja päätelaitteen välisestä etäisyydestä, joka arvioidaan radiosignaalin etenemisviiveestä (RTT). (Tripathi, Reed & VanLandingham 2006.)

Koodijakokanavoiduissa järjestelmissä sekä toisen sukupolven että kolmannen sukupolven teknologioilla, yleisimmät kriteerit pyyntöä esittämi-

seen on vastaanotetun signaalin tehon suhde kaikkeen vastaanotettuun kohinaan (E_c/I_o), mitattuna pilottikanavalla ($CPICH$) ja/tai kanavan kentänvoimakkuus ($RSCP$). Koodijakokanavoiduissa järjestelmissä toteutetuissa soft tai softer handovereissa, jolloin päätelaite on yhteydessä useampaan kuin yhteen soluun rinnakkain, prosessoidaan päätelaitteella kaikkia vastaanotettuja signaaleja samanaikaisesti käyttämällä haravavastaanotinta (*rake receiver*). Tässä jokaista signaalia prosessoidaan haravanpiikeiksi (*rake fingers*) kutsutuissa moduuleissa. (Korhonen 2003.)

Päätelaitteella siis on oltava kolme tai useampia haravanpiikki-moduuleja signaalien prosessointiin. Muodostettuja yhteyksiä voi olla rinnakkain yksi vähemmän kuin moduuleja päätelaitteella. Yhtä moduulia käytetään muiden solujen signaalien monitorointiin. Soluja, joihin on yhtäaikaisesti muodostettu yhteys, kutsutaan aktiiviseksi setiksi. Mikäli monitorointiin käytetty moduuli havaitsee riittävän voimakkaan signaalin, lisätään se aktiiviseen settiin ja heikoin signaali tippuu pois. Uudella solulla siis on oltava riittävä E_c/I_o - ja/tai $RSCP$ -taso päästäkseen settiin. Naapurilistauksen soluja, koodijakokanavoiduissa järjestelmissä aktiivinen setti, monitoroidaan useammin kuin muita ja yhteyden siirtyminen naapurisolujen välillä on todennäköinen, vaikka myös listauksen ulkopuoliseen soluun siirtyminen on mahdollista. Tämä ei ole mahdollista NMT- eikä GSM-tekniikoilla. (Zeng & Agrawal 2001.)

Yhteyksien siirtäminen solujen välillä ei aina ole täysin ongelmaton ja eri tekniikoilla voi olla useitakin eri syitä handoverien epäonnistumisiin. Ongelmia saattaa aiheutua, esimerkiksi mikäli vierekkäisten solujen taajuudet eivät olekaan uudelleen allokoitavissa. Tällöin täytyy yhteydelle alokoida uusi taajuus ja tästä saattaa aiheutua häiriöitä. Myös mikäli päätelaite liikkuu pois päin tukiaseman kantama-alueelta toisen tukiaseman kantama-alueelle, jossa kaikki kanavat ovat käytössä, katkeaa yhteyskin. Lisäksi mahdollisia ongelmia voi aiheuttaa naapurisolujen signaalien häiriöt, joissa signaalit peittoavat toisensa ja aiheuttavat päätelaitteella signaalintunnistamisen turtumista. (Basha & Shaik 2013.)

4.5 Handovereiden priorisointi

Eri tekniikoilla on erilaisia metodeja handover-pyyntöjen käsittelyyn. Joissain järjestelmissä handover-yhteys muodostetaan vastaavalla tavalla kuin se olisi uusi muodostettava yhteys. Tällaisessa järjestelmässä mahdollisuus handoverin yhteydessä aiheutuvaan yhteyden katkeamiseen olisi sama, kuin uuden muodostettavan yhteyden kohdalla. Puhelun katkeaminen kesken puhelun katsotaan kuitenkin kuluttajalle ärsyttävämmäksi vaihtoehdoksi kuin se, että uuden aloitettavan puhelun muodostus estyisi. Tällaisten tilanteiden välttämiseksi handover-pyyntöt priorisoidaan korkeammalle kuin uusien yhteyksien muodostamispyyntöt. Tällaisiin handovereiden priorisointeihin on kaksi menetystä, kanava- ja jonotus. (Gehlod Jain & Sharma 2013.)

Kanava- ja jonotus konsepti (*Guard Channel Concept*), on tekniikka, jolla osa solun käytettävissä olevista kanavista varataan pelkästään tuleville hando-

ver-pyynnöille jo muodostetuista yhteyksistä, jotka on mahdollista siirtää kulkemaan juuri kyseisen solun kautta. (Abu-Al-Saud n.d.)

Jonottaminen mahdollistuu, koska aika siitä, kun vastaanotetun signaalin taso laskee alle handoverin vaatiman kynnsarvon, siihen kun yhteys katkeaa signaalin riittämättömyyden vuoksi on rajallinen. Tällä siis tarkoitetaan että ensimmäisenä handoverin vaatiman kynnsarvon ylittänyt saa ensimmäisen tukiasemalta vapautuvan kanavan ja niin edelleen. Jonottamiseen käytetyn viiveen aika määritellään tietyn palvelualueen sisällä kulkevan yhteysliikenteen rakenteen mukaisesti. (Kandhway 2007.)

4.6 Vertikaalit handoverit

Handoverit, jotka siirtävät yhteyden eri teknologioiden välillä, nimitetään vertikaaleiksi handovereiksi. Kolmannen sukupolven yhteistyöprojekti, 3GPP on luonut UMA/GAN-standardit tämän mahdollistamiseksi. Esimerkiksi aktiivisen puhelun siirtyminen GSM-tekniikalta UMTS-tekniikalle, tai aktiivisen tietoliikenneyhteyden siirtyminen LTE-tekniikan verkosta paikalliseen WLAN-verkkoon, olisivat niin sanottuja vertikaaleja handovereita. Järjestelmien välisiä handovereita taas kutsutaan joko inter- tai intra-system handovereiksi, jotka voivat myös olla vertikaaleja. (Busanelli, Martalò, Ferrari & Spigoni 2011.)

4.6.1 Inter-System Handover

Kahden eri operaattorin hallinnoimien verkkojen välillä tapahtuvaa handoveria kutsutaan inter-system handoveriksi. Käytännössä päätelaitteen muodostama yhteys verkkoon siirtyy päätelaitteen liikkuaessa verkon peittoalueen ulkopuolelle siten, ettei enää löydy samasta verkosta solua johon yhteyden voisi siirtää. Tämänkaltaisessa tilanteessa on mahdollista yhteyden katkaisemisen estämiseksi muodostaa yhteys toisen operaattorin hallinnoimaan, saatavilla olevan verkon tukiasemaan. Tämä ei onnistu kaikissa tapauksissa, sillä molempien operaattoreiden mobiilipuhelinkeskusten (MTSO) tulee olla yhteensopivia molempien verkkojen osalta. Toteutuksessaan kyseessä on verkkovierailu, mistä aiheutuu päätelaitteen käyttäjälle lisälaskua. (Holma & Toskala 2010.)

4.6.2 Intra-System Handover

Saman operaattorin hallinnoimien eri teknologioiden verkkojen välillä yhteyksien siirtoa kutsutaan intra-system handoveriksi. Vastaavasti kuin inter-system handoverin tapauksessa, päätelaitetta liikutetaan verkon kantoalueen ulkopuolelle, eikä signaalin heiketessä uutta solua löydy samasta verkosta, johon yhteyttä voitaisi siirtää. Tällaisessa tapauksessa voidaan yhteys siirtää esimerkiksi saman operaattorin hallinnoimasta UMTS-verkosta GSM-verkkoon, mikäli kuuluvuutta löytyy. Tästä ei lisäkustannuksia seuraa, koska yhteys pysyy saman operaattorin mobiilipuhelinkeskusten hallinnoimalla alueella. (Piao 2006.)

Suoritetusta testiajasta voidaan liitteessä 1 olevasta taulukosta nähdä palvelevan solun vaihdokset, sekä aika jolloin yhteys on ollut muodostettuna kyseisen solun kautta. Liitteessä 2 pystytään myös seuraamaan soluvaihdoksia, jotka grafiikassa esitetty eri väreillä. Lisäksi palvelevan solun vaihdot voidaan nähdä kartalla liitteessä 5, vastaavasti kuin grafiikassa eri solut merkitty karttaan eri väreillä.

5 YHTEYDEN TESTAAMINEN

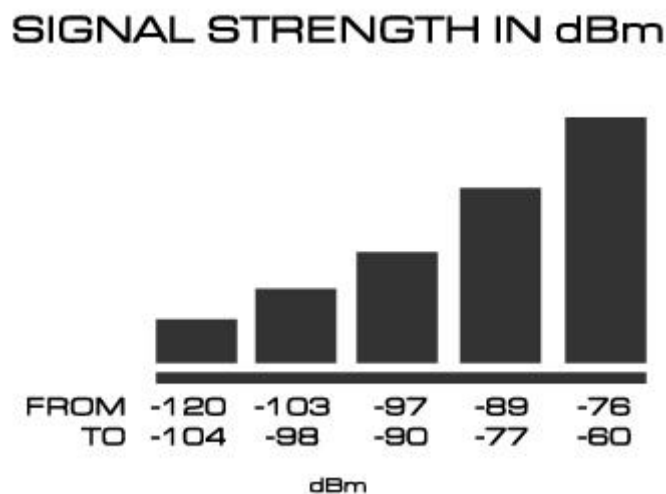
Radioverkon tukiasemat sekä päätelaitteet monitoroivat muodostamaansa radorajapintaa ja suorittavat erilaisia mittauksia. Osaa näistä mittauksista voidaan tarkastella päätelaitteille saatavilla sovelluksilla. Erityisesti päätelaitteet seuraavat signaalin voimakkuuden ja laadun muutoksia liikuttaessa solujen välillä ja valitsevat solun, jolta saavat parhaan kuuluvuuden. Mittausta tehdään muihinkin soluihin kuin siihen, jonka kautta yhteys verkkoon on muodostettu. Testaamisen kannalta kiinnostavia ovatkin signaalin taso ja laatu sekä latausnopeudet. Kaikilla päätelaitteilla ei kaikkia arvoja pystytä todentamaan.

5.1 Signaalin voimakkuus

Signaalin voimakkuus parametreja on useita, eikä yhden parametrin tiedolla pystytä arvioimaan yhteyden toimivuutta. Ilman tietoa signaalin laadusta ei signaalin voimakkuudella ole merkitystä ja toisinpäin. Signaalin voimakkuudesta tulisikin saada useampia parametreja arvioitua eri tilanteissa, jotta saataisi kattava käsitys muodostetun yhteyden toimivuudesta.

5.1.1 RSSI

RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) on päätelaitteen vastaanottaman signaalin voimakkuuden indikaattori, ja tätä arvoa päätelaitteet näyttävät kentänvoimakkuudesta ”tolppina” kuten kuvassa 7. RSSI on parametri, joka sisältää tietoa koko signaalin kaistan leveyden tehosta. Mitä lähempänä nollaa RSSI-arvo on, sitä parempi signaali. Tätä parametria ei päätelaite lähetä tukiasemalle, vaan sitä käytetään muiden parametrien laskemiseen.



Kuva 7. Päätelaitteen näytöllä näkyvien palkkien RSSI rajat. Nämä ovat suuntaa antavia arvoja ja voivat vaihdella päätelaitteesta riippuen. (TelcoAntennas n.d)

RSSI mitataan koko kaistan leveydeltä ja lasketaan kaavasta.

$RSSI = \text{Koko kaistan teho} = \text{kohina} + \text{palvelevan solun teho} + \text{muu vastaanotettu häiriöteho}$

Häiriöttömänä ja ilman kohinaa $RSSI = 12 * N * RSRP$

RSRP on vastaanotettujen resurssielementtien vertailusignaalien keskiarvoteho mitattavalla taajuudella. N tässä on radiokehysten (RB) lukumäärä koko mitattavalla RSSI-kaistalla, joka riippuu kaistanleveydestä. (Maurizio 2015.)

5.1.2 Vastaanotetun signaalin voimakkuuden taso

Signaalin voimakkuuden arvo ei itsenäisesti kerro yhteyden käytettävyydestä, vaan vaatii myös muita parametreja antaakseen kokonaiskuvan yhteydestä. Vastaanotetun signaalin voimakkuuden tasoa voidaan seurata päätelaitteella, kuten esimerkiksi liitteessä 1 nähdään taulukossa keskimääräinen signaalintaso sarakkeessa Level. Myös liitteen 2 grafiikassa voidaan seurata tarkemmin tason muutoksia, sinä aikana jolloin yhteys on muodostettu kyseisen solun kautta. Karkean käsityksen signaalin tason vaihteluista näkee myös kartasta liitteessä 3. Normaali vaihteluväli testatulla reitillä on kuitenkin noin -90 ja -70 dBm:n välillä. Tason yksikkönä käytetään aina dBm, ja negatiivisena syystä, että se on vastaanotetun signaalin taso. Tähän tasoon vaikuttaa vaimentavasti monet asia, ja on alempi kuin lähettimen päässä. Positiivinen dBm viittaisi saatuun tehoon, jolloin arvo ylittäisi yhden milliwatin arvon, kun taas negatiivinen tehon häviöön, arvoon alle yhden milliwatin. Desibelejä käytetään wattien sijasta, koska tehot ovat pieniä, alle 0,01 mW. Tehotasojen vaihtelu on suurta radiosignaaleissa ja siihen lisätynä, tässä tapauksessa ”m”, viittaa tuloksen olevan desibeliä suhteessa milliwatin tehoon. Signaalien analysoinnissa onkin päädytty dBm käytäntöön, koska vertailut, laskelmat ja graafiset kuvaukset ovat näin täsmällisempiä.

- 3 dBm = 2 mW
- 0 dBm = 1 mW
- - 3 dBm = ½ mW
- - 10 dBm = 0,1 mW
- - 20 dBm = 0,01 mW ja niin edelleen

Langattomissa verkoissa vastaanotetun signaalin tason normaalivaihteluväli on -55 dBm (3,1 nW) → -110 dBm (0.01 pW) välillä. Signaalin taso katsotaan hyväksi ylittäessään -75 dBm ja huonoksi alittaessaan -85 dBm. -55 dBm saavutetaan yleensä tukiaseman vieressä ja -110 dBm alittava yhteys on käyttökelvoton.

RxLev lasketaan seuraavalla kaavalla:

$RxLev (dBm) = \text{antennin lähtöteho} + \text{lähetyssantennin vahvistus (dBi)} - \text{vastaanottavan antennin vaimennus} + \text{matkalla lähettimeltä päätelaitteelle hävitty teho.}$

Ja koska,

$$EiRP \text{ (ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho)}(dBm) = \text{antennin lähtöteho}(dBm) + \text{lähetysantennin vahvistus}(dBi)$$

seuraa edellisestä karkeasti,

$$RxLev(dBm) = EiRP(dBm) - \text{etenemisvaimennus}(dB)$$

Vapaan tilan etenemisvaimennus taas on,

$$FSPL(dB) = 32,45 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

Esimerkissä lasketaan eteneminen tyhjiössä:

jos $EiRP = 52 \text{ dBm}$, $FSPL = 94,64 \text{ dB}$ (tässä $d = 1,5 \text{ km}$, ja $f = 890,2 \text{ MHz}$)

saadaan $RxLev$ -arvoksi karkeasti $52 \text{ dBm} - 94,64 \text{ dB} = -42,64 \text{ dBm}$

Signaalin voimakkuuteen vaikuttaa monia ulkoisia tekijöitä, kuten etäisyys tukiasemalta, mutta myös fyysiset esteet vaimentavat sitä. Esimerkiksi taa-juusalueesta riippuen puuseinä vaimentaa 5–8 dB. Tavallinen ikkunalasi 7–10 dB, tiiliseinä 10–16 dB Betoniseinä 15–25 dB ja hissi jopa 30–40 dB. Nämä tulisikin huomioida mittaustuloksia tulkitessa. (RFExpert 2011.)

5.1.3 RxLev Full ja Sub

Mobiiliverkoissa signaalin tason mittauksia voidaan suorittaa joko epäjatkuva lähetys (*DTX*) päällä, jolloin kyseessä on $RxLev \text{ Sub}$ -mittaus. Kun epäjatkuva lähetys on pois päältä kyseessä on $RxLev \text{ Full}$ -mittaus tekniikasta riippumatta.

$RxLev \text{ Full}$ muodostuu päätelaitteen ja tukiaseman välillä, *SACCH*-ohjauskanavalla kulkevasta mittausdatasta, joka päivittyy 480 ms:n välein. *SACCH* sisältää 104 aikajakokanavointikehystä, joista neljä sisältää tukiaseman identifioivaa dataa (*BSIC*) ja loput sata ovat palvelevan solun mittaustietoa sekä naapurustietoa. Keskiarvo näistä sadasta mittauksesta muodostaa $RxLev \text{ Full}$ -mittauksen. (All Interview.Com n.d.)

$RxLev \text{ Sub}$ -mittauksessa *DTX* on päällä. Normaalin puhelun kulkiessa päätelaitteen ja tukiaseman välillä, on lähetys tai vastaanotto pois päältä noin 40 % puheluun kuluvasta ajasta. *DTX*:n ollessa käytössä kytkeytyy lähetin tai vastaanotin pois päältä kun data ei liiku. Tällöin aikajakokanavointikehyksiäkin kulkee päätelaitteen ja tukiaseman välillä harvemmin. Näiden mittaustulosten keskiarvoa kutsutaan $RxLev \text{ Sub}$ iksi, ja näillä saadaan tarkempaa mittausdataa. (All Interview.Com n.d.)

5.2 Signaali-kohinasuhde

Signaali-kohinasuhde (SNR tai S/N) on suure, jota käytetään halutun signaalin tasojen vertailuun taustakohinaa vasten. Signaali-kohinasuhde indikoi signaalin kohinasuhteen keskiarvoa ja hetkellisesti arvot voivat heitellä suurestikin. Se määritellään signaalin tehon suhteena kohinan tehoon ja ilmaistaan desibeleinä. Korkeampi suhde kuin 1:1, eli arvon ylittäessä 0 dB indikoi enemmän signaalia kuin kohinaa. SNR-arvoa käytetään yleensä sähköisissä signaaleissa, vaikka sitä voidaan käyttää mihin tahansa signaaliin (esim. jäänäytteiden isotooppitasojen mittaamiseen tai biokemialliseen signaalinkulkuun solujen välillä). Signaali-kohinasuhde, kaistanleveys ja tiedonsiirtokanavan kapasiteetti yhdistyvät Shannon-Hartleyn teoreemalla. Signaali-kohinasuhde on ohessa määritelty halutun signaalin ja taustakohinan tehosuhteeksi.

$$SNR = \frac{P_{\text{signaali}}}{P_{\text{kohina}}}$$

Tässä P on keskiarvoteho. Signaali ja taustakohina täytyy mitata samasta tai vastaavasta pisteestä järjestelmästä, saman kaistanleveyden alueelta. Mikäli signaalin ja kohinan vaihtelu ovat tiedossa, katsotaan signaalin olevan standardipoikkeama normaalijakaumalla:

$$SNR = \frac{\sigma_{\text{signaali}}^2}{\sigma_{\text{kohina}}^2}$$

Mikäli signaali ja kohina mitataan samalla impedanssilla, signaali-kohinasuhde voidaan laskea amplitudisuhteen neliöstä:

$$SNR = \frac{P_{\text{signaali}}}{P_{\text{kohina}}} = \left(\frac{A_{\text{signaali}}}{A_{\text{kohina}}} \right)^2$$

Edellä A on neliöllinen keskiarvo (RMS) amplitudista, esimerkiksi jännitteen neliöstä. Koska useilla signaaleilla arvo on dynaaminen skaalan takia, SNR ilmaistaan usein logaritmisella desibelin skaalalla. SNR desibeleinä:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signaali}}}{P_{\text{kohina}}} \right) = P_{\text{signaali},dB} - P_{\text{kohina},dB}$$

ja sama vastaavana amplitudisuhteena:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{A_{\text{signaali}}}{A_{\text{kohina}}} \right)^2 \right] = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{\text{signaali}}}{A_{\text{kohina}}} \right)$$

Signaali-kohinasuhde ja dynaaminen skaala ovat läheisessä yhteydessä. Dynaamisella skaalalla mitataan kanavalla voimakkaimman vääristymättömän signaalin ja pienimmän havaittavissa olevan signaalin suhdetta, mikä yleensä on kohinataso. Signaali-kohinasuhde mittaa suhdetta vapaasti

valittavan signaalin, ei välttämättä voimakkaimman, suhdetta kohinaan. (Poole Ian n.d.)

Signaalin kohinatasoja testattiin LTE-verkossa, ja reitistä liitteessä 6 voidaan nähdä, että vaihteluväli on noin -10 desibelin ja 20 desibelin välillä. Suurimmalla osalla reitistä kuitenkin pysyttiin nollan ja kymmenen desibelin välillä.

5.3 Laatu

Signaalin laatuun on eri teknikoilla eri parametrit joilla ne ilmaistaan. As-teikot sekä mittaustekniikat vaihtelevat teknologioiden väleillä ja yhteyden laatua tarkastellessa tulisikin olla mitattava tekniikka tiedossa, koska muutoin laatuparametrin arvo ei kerro juuri mitään.

5.3.1 GSM-tekniikan signaalin laatuparametri RxQual

Vastaanotetun signaalin laatu eli RxQual, on osa verkon mittausraporttia. Laatu voi vaihdella nollan ja seitsemän välillä, hyvä laatu 0–4, ja huono 5–7, kuten taulukossa 2. Jokainen arvo vastaa arvioitujen bittivirheiden määrää. Laadussa on samaan tapaan kuin voimakkuuden tasossa kaksi arvoa, Full ja Sub.

RxQual Sub -mittausta suoritetaan kun DTX on aktiivisena. Arvot eivät ole luotettavia, koska niihin käytetään bittivirheiden määrää mittaavia BER-mittauksia. Mittausta suoritetaan myös silloin, kun yhteydellä ei kulje dataa, jolloin korkea BER-arvo aiheuttaa heikon RxQual -arvon.

RxQual Full -mittausta käytetään kun DTX ei ole käytössä, koska laatu arvot ovat tällöin tarkempia. Full-mittauksessa käytetään mittaukseen koko SACCH-ylikehys, lähettää tukiasema signaalia tai ei. RxQual- ja BER-suhde GSM:llä, lasketaan esimerkiksi neljän sykäyksen keskimääräisestä BER-arvosta. Tämä arvo soveltuu puheensirtoon, eikä pakettikytkentäiseen datansiirtoon. (Ascom Rxqual 2005.)

Taulukko 2. RxQual-arvot suhteutettuna BER-arvoon (Funny Electronics 2014.)

RxQual	Bit Error Rate (BER)
0	BER < 0.2%
1	0.2% < BER < 0.4%
2	0.4% < BER < 0.8%
3	0.8% < BER < 1.6%
4	1.6% < BER < 3.2%
5	3.2% < BER < 6.4%
6	6.4% < BER < 12.8%
7	12.8% < BER

Pakettikytkentäisellä yhteydellä datan laatua arvioidaan laskemalla RxQual-arvo BER-keskiarvosta ennen kanavan dekodeausta. Tietoa käytetään esimerkiksi verkon ohjaamaan solun vaihtoon, dynaamisen koodausjärjestelmän sovittamiseen sekä lataussuunnan tehon säätöön. Pakettikytkentäisen siirron ollessa pois käytöstä ei mitausta suoriteta.

5.3.2 UMTS-teknologian signaalin laatuparametri Ec/No

Kirjaimellisesti Ec on vastaanotettu energia per siru ja No on koko kaistalta vastaanotettu tehontiheys. Karkeasti $Ec = RSCP$ ja $No = RSSI$. Käytännössä kanavan kentänvoimakkuudesta vähennetään päätelaitteen vastaanottaman signaalin voimakkuus eli $Ec/No = RSCP - RSSI$. Esimerkiksi jos $RSCP = 35$ dbm ja $RSSI = 45$ dbm, olisi Ec/No tällöin $= -10$ dbm

Kokonaisarvona Ec/No on sitä heikompi, mitä suuremman arvon No saavuttaa. Jälleen arvo on sitä parempi mitä lähempänä nollaa sen arvo on. (Husain 2011.)

5.3.3 LTE-teknologian laatuparametrit RSRP ja RSRQ

LTE-verkoissa tehtävissä mittauksissa mitataan kahta parametriarvoa, jotka ovat RSRP ja RSRQ. Mittaukset voidaan suorittaa RRC päällä tai pois päältä, joko taajuuden sisällä tai taajuuksien välillä.

RSRP (*Reference Signal Received Power*) on vastaavanlainen mittaus kuin RSSI ja se esittää vertailusignaalien tehon koko kaistanleveydeltä, tai kaapeammalta osalta kaistaa.

RSRP ja RSRQ edellyttävät signaali-kohinasuhteelta vähintään -20 dB:n arvoa näyttääkseen mitään arvoa. Käytännössä kyseessä on tehonsyötön lineaarinen keskiarvo watteina, tukiasemilta tulevilta signaaleilta, jossa solukohtainen data kulkee mittaukseen käytetyn taajuuden alueella. RSRP:n mittaamiseksi käytetään referenssisignaalia R0, ja mikäli päätelaite pystyy havaitsemaan lisäksi toisen referenssisignaalin R1 saatavuuden, voidaan myös sitä käyttää lisäksi. Referenssipisteenä RSRP-mittauksessa käytetään päätelaitteen antenniliitintää. Mikäli vastaanoton diversiteetti on päätelaitteella käytössä, raportoitu arvo ei saa olla alempi kuin vastaava RSRP naapurisolujen diversiteettihaaroilla. (LaRocca 2015.)

RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) tarkoittaa referenssisignaalin vastaanotettua laatua. RSRQ lasketaan seuraavalla kaavalla:

$RSRQ = (N * RSRP) / RSSI$, jossa N on mittaukseen käytettyjen radiokehysten (*RB*) määrä. Kapeammalla kaistalla N on 6 radiokehystä ja täydellä kaistalla jopa 100 radiokehystä, per 20 MHz.

RSRQ on kantoaallon häiriösuhdemittaus, joka esittää vastaanotetun signaalin laatua. Kun RSRP-mittauksella ei saada riittävää tietoa yhteyden siirtoon toiselle solulle luotettavasti, antaa RSRQ-mittaus lisätietoa yhteyden laadusta. LTE-teknologia voi käyttää yhteyden handoveriin solujen välillä joko RSRP-arvoa, RSRQ-arvoa tai molempia. Molemmat mittaukset tehdään samalla kaistanleveydellä, jolloin molemmissa mittauksissa

saadaan RSSI- ja RSRP-arvoille mittaukset samoista resurssiblokeista. RSRQ muodostuu kahden eri tehonarvon suhteesta. RSRQ:n yksikkö on desibeli ja se on myös aina negatiivinen, koska RSSI-arvo on aina suurempi kuin $N * RSRP$. Päätelaitte mittaa verkosta saamastaan signaalista RSRP- tai RSRQ-arvot, ja lähettää mittaustuloksen verkkoon. (LaRocca 2015.)

Tehdystä testikierroksesta liitteessä 1 olevasta taulukosta ja liitteessä 4 olevasta kartasta voidaan nähdä, että vastaanotetun signaalin laatu pysyy koko reitin matkalla noin -13 ja -6 desibelin välillä. RSRQ-arvoina sama olisi oheisen taulukon 3. mukaisesti välillä 14 ja 28.

Taulukko 3. Taulukossa esitetty RSRQ-arvon muutos, verrattuna mitattuun arvoon. Vasemmalla päätelaitteen verkkoon lähettämä arvo joka on välillä 0 ja 34. Saaduilla arvoilla kartoitetaan alueen signaalinlaatua. (sharetechnote.com RSRQ 2015a.)

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRQ_00	$RSRQ < -19.5$	dB
RSRQ_01	$-19.5 \leq RSRQ < -19$	dB
RSRQ_02	$-19 \leq RSRQ < -18.5$	dB
...
RSRQ_32	$-4 \leq RSRQ < -3.5$	dB
RSRQ_33	$-3.5 \leq RSRQ < -3$	dB
RSRQ_34	$-3 \leq RSRQ$	dB

5.3.4 CQI

CQI (*Channel Quality Indicator*) kuvaa arvona yhteyskanavan laatua, ja sisältää tietoa muodostetun yhteyden laadusta, sekä lähettää siitä tietoa verkkoon. Päätelaitteen yrittäessä lähettää jotakin tiedostoa, voidaan lähettyksen tiedot muuttaa suoraan suoritustehoksi. HSPA-tekniikassa arvon vaihteluväli on nollan ja kolmenkymmenen välillä. Tässä tapauksessa 0,1 on huonoin saavutettava arvo ja kolmekymmentä paras. LTE-tekniikalla sama arvo vaihtelee nolasta viiteentoista, kuten taulukossa 4 (s. 26) on esitetty. Riippuen tästä arvosta jonka päätelaite lähettää, säättää verkko lähetettävien pakettien kokoa suuremmaksi tai pienemmäksi. Mikäli päätelaite lähettää alhaisen CQI-arvon verkkoon, ja verkko siitä huolimatta yrittää lähettää suurikokoisia paketteja päätelaitteelle, todennäköisesti päätelaite ei pysty niitä dekodamaan koska siitä aiheutuu yhteyden CRC-virhe päätelaitteella. Virheilmoituksen (*NACK*) saatuaan, verkko yrittää lähettää samaa uudelleen, mikä taas tuhlaa verkon kapasiteettia. Samanlainen virhe saadaan aikaiseksi, mikäli päätelaite lähettää virheellisesti korkean CQI-arvon. Vaikka kanavan laatu olisikin alhainen, yrittäisi verkko silti lähettää suurta pakettia. (Husain 2011.)

Taulukko 4. LTE-teknologian CQI-arvot ja sen muutosten vaikutukset yhteydellä käytettyyn modulaatioon, sekä lähetettyjen pakettien kokoon (Shared Tech Note 2015b.)

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

5.4 Tiedonsiirtonopeudet

Tiedonsiirtonopeus päätelaitteelta verkkoon ja verkosta päätelaitteelle on muotoa bittinä per sekunti. Yhteysnopeuden testaaminen älypuhelimella on helpointa suorittaa laitteeseen asennettavalla testisovelluksella. Sovelluksilla saadaan näytölle reaaliaikaiset latausnopeudet. Sovellus tallentaa saadut tulokset päätelaitteelle, sekä joillakin sovelluksilla mahdollisesti myös verkkoon tulosten vertailua tai jakamista varten. Nopeustestejä voidaan suorittaa langattomissa WLAN-verkoissa sekä langattomien operaattoreiden hallinnoimissa verkoissa. Eri päätelaitteille on erilaisia versioita ohjelmista ja osa sovelluksista näyttää muutakin kuin pelkän tiedonsiirron nopeuden. Pelkän nopeuden selvittämiseksi riittävät kuitenkin yksinkertaisemmatkin testisovellukset.

Liitteessä 7 on testireitin varrelta otettuja mittaustuloksia ja niistä voidaan havaita, että LTE:llä on paikasta riippuen suuriakin eroja latausnopeuksissa. Ruuhkaisimmilla tukiasemilla latausnopeudet saattavat pudota hyvinkin alas, kuten testireitin alussa testattu 7,76 Mbps vastaanottosuunnassa ja 2,00 Mbps lähetysuunnassa. Nopeimmillaan saatiin reitin puolivälissä tulokseksi 90,43 Mbps vastaanottosuunnassa ja 27,51 Mbps lähetysuunnassa. Keskimäärin kuitenkin vastaanottonopeudet ovat olleet kautta linjan noin 40 Mbps, ja lähetysnopeudet noin 25 Mbps.

6 POHDINTA

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä on ollut selvittää tiedonsiirron mekanismeja, yhteyksien muodostamista sekä niiden liikkumista verkon sisällä ja niiden välillä. Lisäksi työssäni perehdytään eri teknologioilla toteutettuihin verkkoihin sekä niiden välisiin rakenteellisiin eroihin ja kehittymiseen. Työn pääfokus on kuitenkin yhteyden testaamiseen tarvittavien signaalien parametrit ja se, mitä ne kertovat muodostetusta yhteydestä.

Kehityskaaren alkupäästä ollaan tultu pitkä matka pelkän puheensiirron mahdollistavista teknologioista nykypäivän teräväpiirtolähetysten seuraamisen mahdollistaviin teknologioihin. Tämän myötä myös päätelaitteet ovat kokeneet muutoksia vanhoista autoon kiinteästi asennetuista ARP puhelimista nykypäivän taskussa kulkeviin älypuhelimiin. Edellä mainittuihin asioihin perehdytään työssä yleisellä tasolla sekä suoritetuilla esimerkkimittauksilla saatujen parametrien kautta. Työssä on käsitelty Suomessa käytössä olevia teknologioita ja tarkoituksena on ollut tuottaa selkeä ja monipuolinen raportti, joka olisi aiheeseen perehtymättömänkin käsitettävissä sekä päätelaitteilla saatavat parametrit tulkittavissa.

Muodostettua yhteyttä ja sen signaalia tulkitessa joudutaan huomioimaan useita eri asioita, eikä pelkkä voimakas signaali takaa välttämättä hyvää yhteyttä. Eri tekniikoilla mitattavat parametrit ja se mitä ne signaalista kertovat vaihtelevat. Lisäksi niiden käyttämät asteikotkin ovat erilaisia, joten mittauksia suoritettaessa pitäisi tosiaan tietää lähtökohtaisesti, minkä teknologian verkossa yhteyttä testataan.

Tämän työn ohessa on esimerkkejä LTE-teknologian verkossa tehdyistä mittauksista. Mittaukset on suoritettu Samsung tablet, SM-T535 - päätelaitteella, Gyokov Solutionsin G-NetTrack Lite -sovelluksella sekä Ooklan Speedtest-sovelluksella. Työssä on keskitytty LTE-teknologian yhteyksiin, koska se on viimeisin käyttöönotettu tekniikka. Viidennen sukupolven teknologiat tulevat todennäköisesti seuraamaan LTE-teknologian kehityslinjaa. Myös muiden teknologioiden parametrit käsitellään käytössä olevien tekniikoiden osalta.

Suomessa langattomat palvelut alkavat olla jo kaikkialla saatavissa ja miltei kaikki päätelaitteet ovat sovitettavissa langattomiin vaihtoehtoihin. Tästä voidaankin päätellä, että kiinteiden kaapeliyhteyksien tarve tulee pienenevän sitä mukaa kun langattomilla vaihtoehdoilla pystytään tarjoamaan kiinteälle yhteydelle kilpailukykyistä vaihtoehtoa. Toistaiseksi langattomilla yhteyksillä ei vielä päästä vastaaviin nopeuksiin kuin kiinteällä kuituyhteydellä, mutta laitevalmistajien testeissä on saatu jo lupaavia tuloksia. Suomessa LTE-tekniikalla toteutettujen verkkojen leviämistä edesauttoi vuonna 2014 käyttöönotettu 800 MHz:n taajuuskaista, jonka peittoalue alkaa kattaa jo suuren osan väestöstä. Lisäksi olemassa olevien kolmannen sukupolven tekniikoiden verkkojen tiedonsiirtonopeuksia on voitu kasvattaa esimerkiksi HSPA-tekniikan laajennusten kautta.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista, ja koen onnistuneeni syventämään omaa tietouttani langattomien verkkojen arkkitehtuurien erojen

osalta sekä yhteyksien mittausparametrien tulkinnasta. Lisäksi pääsin perehtymään operaattoreiden tarjoamien palveluiden nykytilaan ja tulevaisuuden näkymiin. Tätä kirjoitettaessa Etelä-Suomen LTE-peitto alkaa olla rakennettu ja haja-asutusalueille Pohjois- ja Itä-Suomeen ollaan kaavailemassa parannuksia. Alueelle nimittäin suunnitellaan Suomen Yhteisverkko Oy:n toimesta verkkoa, joka parantaisi 2G-, 3G- ja 4G-palveluiden saatavuutta alueella. Verkon odotetaan valmistuvan vuoden 2016 loppuun mennessä.

LÄHTEET

- 4G Americas. n.d. HSPA+. Viitattu 20. 2 2015
<http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=1085>
- Abu-Al-Saud, D. W. n.d. EE 499: Wireless & Mobile Communications (082). Viitattu 27. 2 2015
<http://faculty.kfupm.edu.sa/EE/wajih/files/EE%20499,%20Lecture%2007.pdf>
- Ainscough, D. G. 2001. The Evolution and Future of Mobile Communication Systems. Viitattu 15. 1 2015
<http://blueadmiral.com/Communications/Chapter%203.pdf>
- All Interview.Com. n.d. Difference between RXLev Full & RxLev Sub. Viitattu 3. 3 2015
<http://www.allinterview.com/showanswers/158301/defference-between-rx-lev-sub-and-rx-lev-full-mean-by-link-budget-explain.html>
- Al-Rubiae, H. H. Ahmed, A. A. & Al-Qurabi, H. G. 2010. Evaluation and Comparison of Soft and Hard Handovers in Universal Mobile Telecommunication (UMTS) Networks. Haettu 22. 1 2015 osoitteesta Journal of Kerbala University: <http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=19008>
- Ascom Rxqual. 2005. Ascom.com. Viitattu 14. 2. 2015
<http://www.ascom.com/en/measurements-in-investigation-2.pdf>
- Basha, S. I.;& Shaik, I. 2013. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). Viitattu 28.1.2015
http://ijeit.com/vol%202/Issue%2011/IJEIT1412201305_07.pdf
- Belhoucet, L. & Ebdelli, H. 2010. LTE Technology. Viitattu 15. 2 2015
http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2010/4G/Documents/Doc4-LTE%20Workshop_TUN_Session3_LTE%20Overview.pdf
- Busanelli, S. Martalò, M. Ferrari, G. & Spigoni, G. 2011. International Journal of Energy, Information and Communications. Viitattu 20. 2 2015
http://www.sersc.org/journals/IJEIC/vol2_Is1/7.pdf
- conniq.com. n.d. Internet Access Guide GPRS. Viitattu 10. 1 2015 osoitteesta conniq: http://www.conniq.com/InternetAccess_GPRS.htm
- countrycode.org. n.d. Maatunnisteet soitettaessa. Viitattu 22.1.2015
<http://countrycode.org/>
- ETSI. 2011. UMTS Identification. Viitattu 21.1.2015
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123003/10.01.00_60/ts_123003v100100p.pdf
- Funny Electronics. 2014. BER to RXQual conversion. Viitattu 14.2.2015
<http://www.learnerswings.com/2014/05/bit-error-rate-ber-to-rxqual-conversion.html>

Gehlod, L. Jain, V. & Sharma, G. 2013. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Viitattu 10. 2.2015

<http://www.ijarccce.com/upload/2013/july/34-h-Gourav%20Sharma-handover%20management%20using%20adaptive%20and.pdf>

GL Communications. n.d. GL Communications. Viitattu 25.1. 2015

<http://www.gl.com/newsletter/end-to-end-wireless-network-lab-solutions-2g-3g-4g-newsletter.html>

Hoff, S. Meyer, M. & Schieder, A. 1998. A Performance Evaluation of Internet Access via the General Packet Radio Service of GPRS. Viitattu 15. 1. 2015

http://www.cs.helsinki.fi/u/gurtov/reiner/internet_over_gprs_vtc98.pdf

Holma, H. & Toskala, A. 2010. WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE. (s. 164 - 167). Chichester: John Wiley & Sons.

Husain, F. 2011. RSCP- RSSI-ECNO-CQI. Viitattu 18. 2. 2015

http://www.slideshare.net/faraz_husain/rscp-rssi-ecno-cqi

insys-icom. n.d. MCC. Viitattu 16.1.2015

<http://www.insys-icom.com/icom/en/knowledge-base/cellular/mcc>

ITU, MNC. 2013. ITU. Viitattu 16.1.2015

http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-E.212B-2013-PDF-E.pdf

Janssen, C. 2015. Techopedia. Viitattu 17. 1 2015

<http://www.techopedia.com/definition/5067/international-mobile-subscriber-identity-imsi>

Kaaranen, H. 2005. UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. Chichester: John Wiley & Sons.

Kandhway, K. 2007. Dynamic priority queueing of handover calls in wireless networks: an analytical framework. Viitattu 10.2.2015 osoitteesta http://www.iitg.ernet.in/nselvaraju/ma402_2007/Assignments/04010249_tp.pdf

Korhonen, J. 2003. Introduction to 3G Mobile Communications.

Teoksessa J. Korhonen, Introduction to 3G Mobile Communications (s. 32-33). Norwood: Artech House Inc.

Kumawat, D. J.;& Tailor, S. 2013. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. Viitattu 25.1.2015

<http://www.ijritcc.org/download/Soft%20and%20Softer%20Handover%20in%20Communication%20Netwoks.pdf>

- LaRocca, M. 2015. RSRP and RSRQ measurement in LTE. Viitattu 3. 3 2015 <http://www.laroccasolutions.com/training/78-rsrp-and-rsrq-measurement-in-lte>
- Marius, M. 2012. ict-pulse. Viitattu 10. 1 2015 <http://www.ict-pulse.com/2012/07/will-4g-change-mobile-broadband-in-the-caribbean/>
- Maurizio, L. R. 2015. LaRocca Solutions, RSSI. Viitattu 4. 3 2015 <http://www.laroccasolutions.com/training/78-rsrp-and-rsrq-measurement-in-lte>
- MCC-MNC. 2015. MCC-MNC. Viitattu 15.1.2015 osoitteesta Country Networks: <http://www.mcc-mnc.com/>
- Mozilla, Cell Records. 2015. Mozilla. Viitattu 28.2.2015 <https://mozilla-ichnaea.readthedocs.org/en/latest/cell.html>
- Nguyen, V. M.;& Claussen, H. 2010. academia.edu. Viitattu 15.2.2015 http://www.academia.edu/1369301/Efficient_Self-optimization_of_Neighbour_Cell_Lists_in_Macrocellular_Networks
- Oxford University Press. 2007. Oxford University Press. Viitattu 22.1. 2015 <http://www.dauniv.ac.in/downloads/Mobilecomputing/MobileCompChap03L11GSMHandover.pdf>
- Piao, G. 2006. Radio Resource Management for Integrated Services in Multi-radio Access Networks. (s. 36-39). Kassel: Kassel University Press.
- Poole Ian, S. n.d. Signal to Noise Ratio. Viitattu 15.2.2015 [www.radio-electronics.com: http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/rf-noise-sensitivity/receiver-signal-to-noise-ratio.php](http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/rf-noise-sensitivity/receiver-signal-to-noise-ratio.php)
- Poole, I. n.d. LTE Advanced tutorial. Viitattu 10.2.2015 <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3gpp-4g-int-lte-advanced-tutorial.php>
- RFExpert. 2011. TelecomSource RXlevel. Viitattu 20. 2 2015 <http://www.telecomsource.net/showthread.php?512-All-about-rx-level>
- Rohde-Schwarz, Handover. 2003. Rohde-Schwarz. Viitattu 22.1.2015 http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/180/n180_cmu200.pdf
- Rouse, M. 2006. UMTS definition. Viitattu 3. 3 2015 <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/UMTS>
- Rouse, M. 2009. 3G Definition. Viitattu 2. 3 2015 <http://searchtelecom.techtarget.com/definition/3G>

- Rouse, M. 2010a. PLMN. Haettu 20.1.2015 osoitteesta <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/public-land-mobile-network>
- Rouse, M. 2010b. 4G Definition. Viitattu 22. 2 2015 <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/4G>
- Shapira, Y. 2012. ExploreGate. Viitattu 22. 2 2015 <https://www.youtube.com/watch?v=4zO79JczU7g>
- sharetechnote.com 2015a. LTE Quick Reference RSRQ. Viitattu 4. 2 2015 http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_RSRQ.html
- sharetechnote.com 2015b. LTE Quick Reference CQI. Viitattu 20.2. 2015 http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_CQI.html
- Sharma, A. 2015. 2G, 3G & 4G brief architecture and comparison. Viitattu 3. 3 2015 osoitteesta <http://mjprugeeks.blogspot.fi/>
- Shripad, R. & Prasanna, R. P. 2009. SlideShare.net. Viitattu 10. 1 2015 <http://www.slideshare.net/rohansripad/evolution-of-telecommunication>
- Singal, T.L . 2010. Handover. Teoksessa T. Singal, *Wireless Communications* (s. 237). New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- TelcoAntennas. n.d. How to access your phone's signal meter. Viitattu 3. 3.2015 <http://www.telcoantennas.com.au/site/phone-engineering-menu>
- Tipper, D. n.d. 2G Cellular Systems Comparison. Viitattu 10.1.2015 osoitteesta http://www.pitt.edu/~dtipper/2720/2720_Slides10.pdf
- TrewMTE. 2010. LAC. Viitattu 25.1.2015 <http://trewmte.blogspot.fi/2010/01/location-area-codes-lac.html>
- Tripathi, N. D. Reed, J. H. & VanLandingham, H. F. 2006. Radio Resource Management in Cellular Systems. (s. 88-94). New York: Kluwer Academic Publishers.
- Tuominen, J. 2002. RAN Architecture. Viitattu 25.1.2015 http://www.comlab.hut.fi/opetus/238/lectute5_RAN_Architecture.pdf
- Wanstrom, J. n.d. HSPA Definition. Viitattu 25. 2 2015 <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>
- Vasco Elvas. 2013. Mobile Computing As of Today. Viitattu 15.1.2015 osoitteesta <http://www.slideshare.net/elvasvj/mobile-evolution-21412776>
- Zeng, Q.-A. & Agrawal, D. P. 2001. Cis Temple. Viitattu 16. 2 2015 <http://www.cis.temple.edu/~wu/teaching/Spring%202015/handoff.pdf>

Testisovelluksella saatavaa tietoa yhteydestä

📶 📶 📶 📶 📶 📶

4G 18% 11.28

G-NetTrack Lite v1.4

Operator: Saunalahti

MCC:244

MNC:05

TAC:29126

eNB:903

CELLID:1

PCI:

Type:LTE

RSRP:-105

RSRQ:-9

SNR:13.0

CQI:-

RSSI:-74

Longitude:24.991890

Latitude:60.268319

Speed:0km/h

GPS Accuracy:15m

GPS

Height:34m

Altitude:34m

Ground:0m

UL: 0 kbps

DL: 0 kbps

Data:

Saunalahti-LTE

IDLE

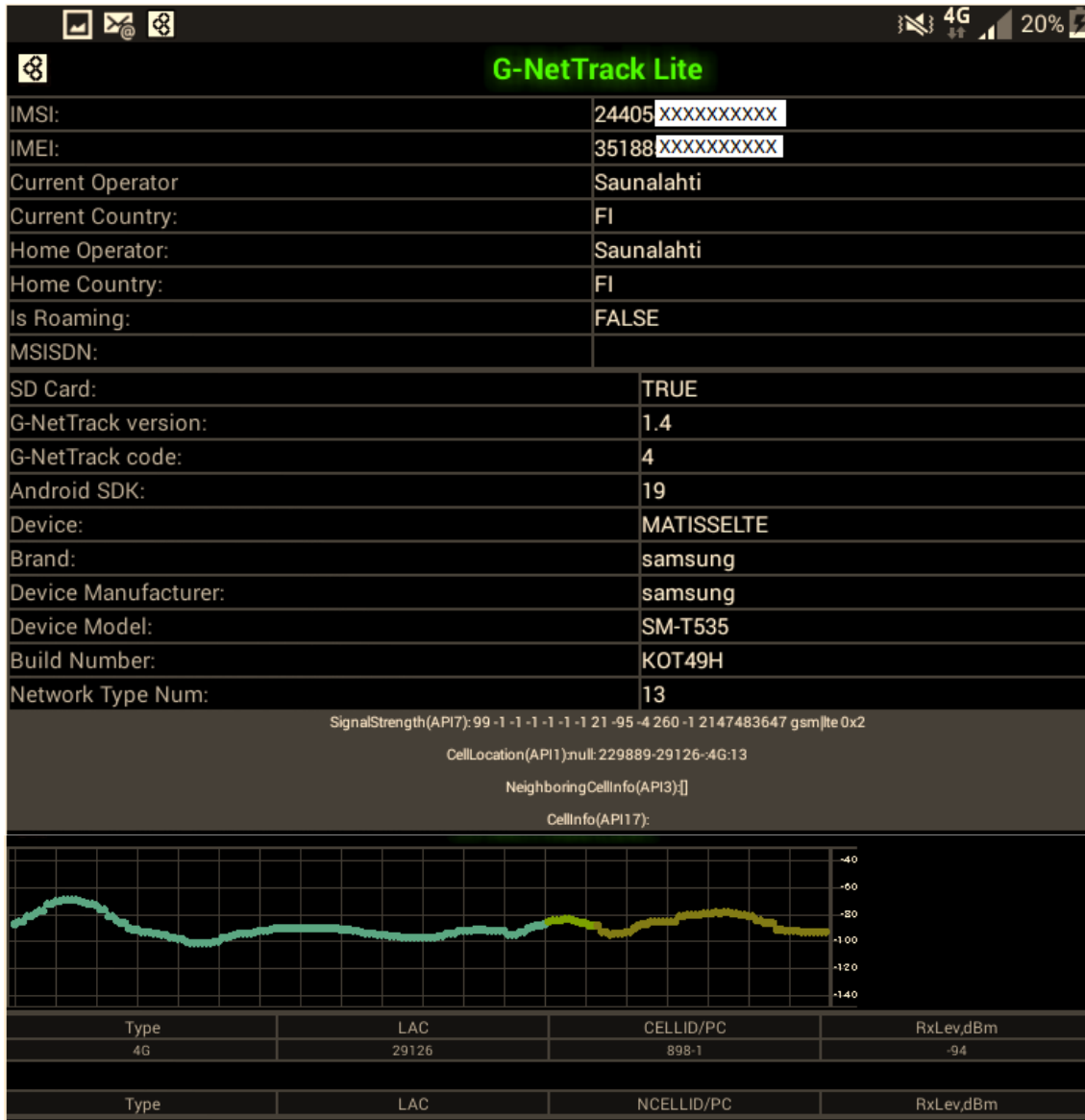
Serving time: 256 sec

Time	LAC	Node	CI	PC	Level	Qual	Type	Servs
10:43:39	29006	330	2		-74	-7	4G	173
10:46:38	29006	330	1		-69	-6	4G	4
10:46:42	29006	330	3		-69	-7	4G	3
10:46:45	29006	330	1		-68	-8	4G	10
10:46:55	29124	305	2		-76	-7	4G	40
10:47:36	29124	305	1		-81	-7	4G	114
10:49:34	29124	909	2		-95	-7	4G	51
10:50:26	29124	370	1		-87	-11	4G	147
10:52:59	29124	301	2		-77	-9	4G	6
10:53:05	29124	301	1		-80	-9	4G	33
10:53:39	29124	1693	1		-85	-8	4G	5
10:53:45	29124	1693	2		-88	-9	4G	32
10:54:18	29124	397	1		-77	-9	4G	48
10:55:08	29124	407	2		-90	-7	4G	80
10:56:31	29124	407	1		-94	-11	4G	3
10:56:34	29124	1158	3		-99	-12	4G	4
10:56:38	29124	1158	2		-105	-13	4G	3
10:56:41	29124	1158	3		-101	-13	4G	25
10:57:07	29124	1158	2		-84	-9	4G	22
10:57:30	29124	1158	3		-81	-12	4G	27
10:57:59	29124	1158	1		-64	-9	4G	35
10:58:35	29124	888	3		-72	-7	4G	82
11:00:01	29124	1158	1		-87	-11	4G	1
11:00:02	29124	888	3		-87	-11	4G	12
11:00:14	29124	306	2		-95	-9	4G	6
11:00:20	29124	888	3		-99	-11	4G	190
11:03:38	29124	1770	1		-87	-9	4G	15
11:03:53	29124	4198	3		-92	-10	4G	1
11:03:54	29124	1770	1		-85	-9	4G	5
11:03:59	29124	1770	2		-80	-9	4G	9
11:04:09	29124	1770	1		-80	-12	4G	19
11:04:29	29124	306	2		-83	-7	4G	17
11:04:46	29124	306	3		-78	-8	4G	57
11:05:46	29124	306	2		-105	-12	4G	15
11:06:01	29053	303	1		-102	-10	4G	14
11:06:16	29124	2929	3		-99	-6	4G	2
11:06:18	29020	1771	2		-98	-6	4G	3
11:06:21	29020	369	2		-100	-7	4G	14
11:06:35	29020	1771	2		-97	-7	4G	41
11:07:18	29020	1771	3		-81	-8	4G	16
11:07:35	29020	1720	1		-99	-8	4G	44
11:08:20	29020	1720	3		-69	-6	4G	37
11:08:59	29020	1301	3		-90	-10	4G	3
11:09:02	29020	1720	3		-91	-9	4G	2
11:09:04	29126	1041	1		-94	-10	4G	25
11:09:30	29126	1041	2		-82	-7	4G	83
11:10:57	29126	354	1		-102	-8	4G	2
11:10:59	29126	1055	3		-104	-9	4G	5
11:11:04	29126	354	1		-107	-11	4G	6
11:11:10	29126	1055	3		-107	-10	4G	58
11:12:11	29126	903	2		-108	-10	4G	102
11:13:57	29126	903	1		-97	-9	4G	565
11:23:47	29126	300	3		-101	-7	4G	2
11:23:49	29126	903	1		-102	-7	4G	

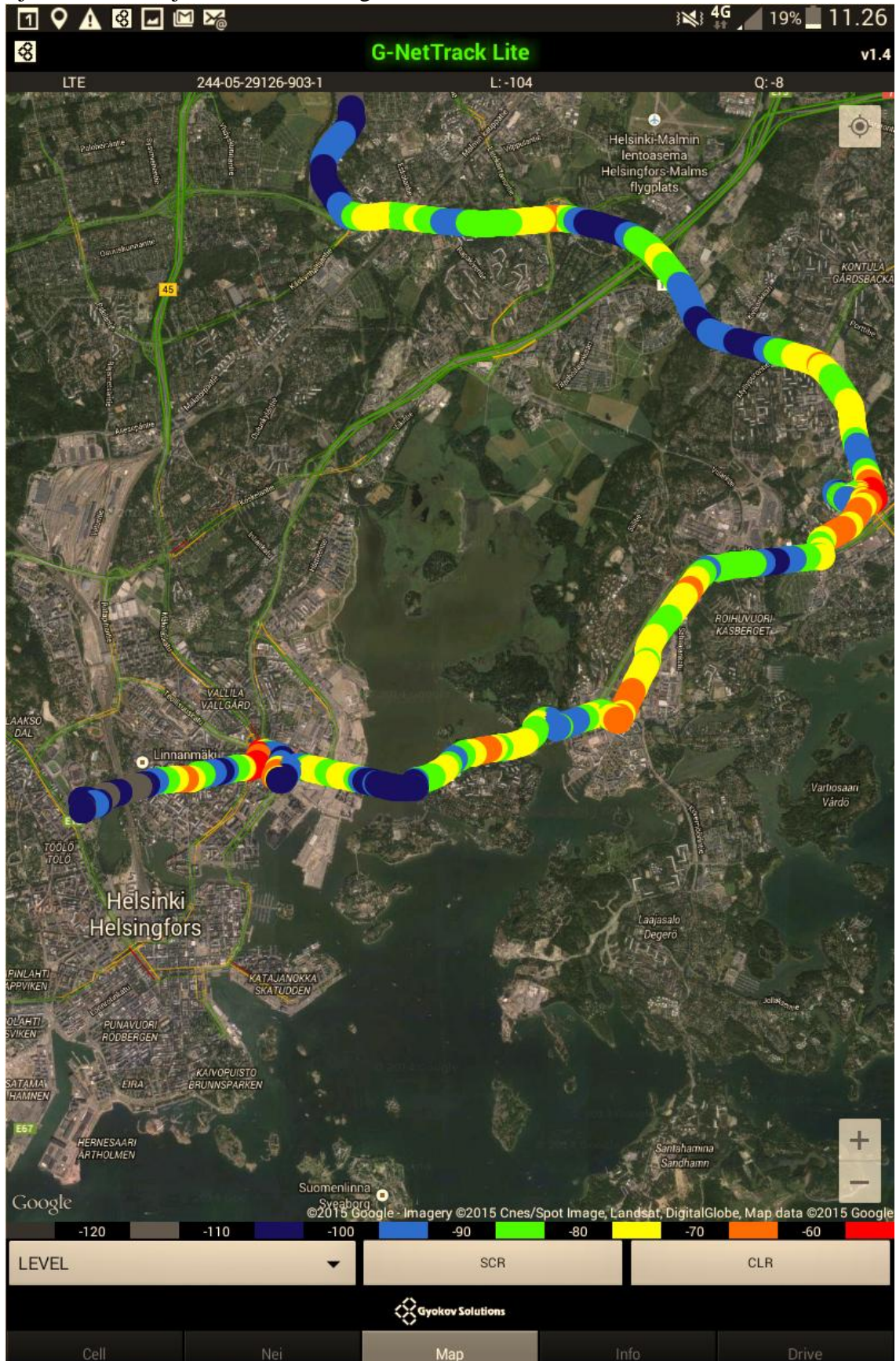
Gyokov Solutions

Cell
Nei
Map
Info
Drive

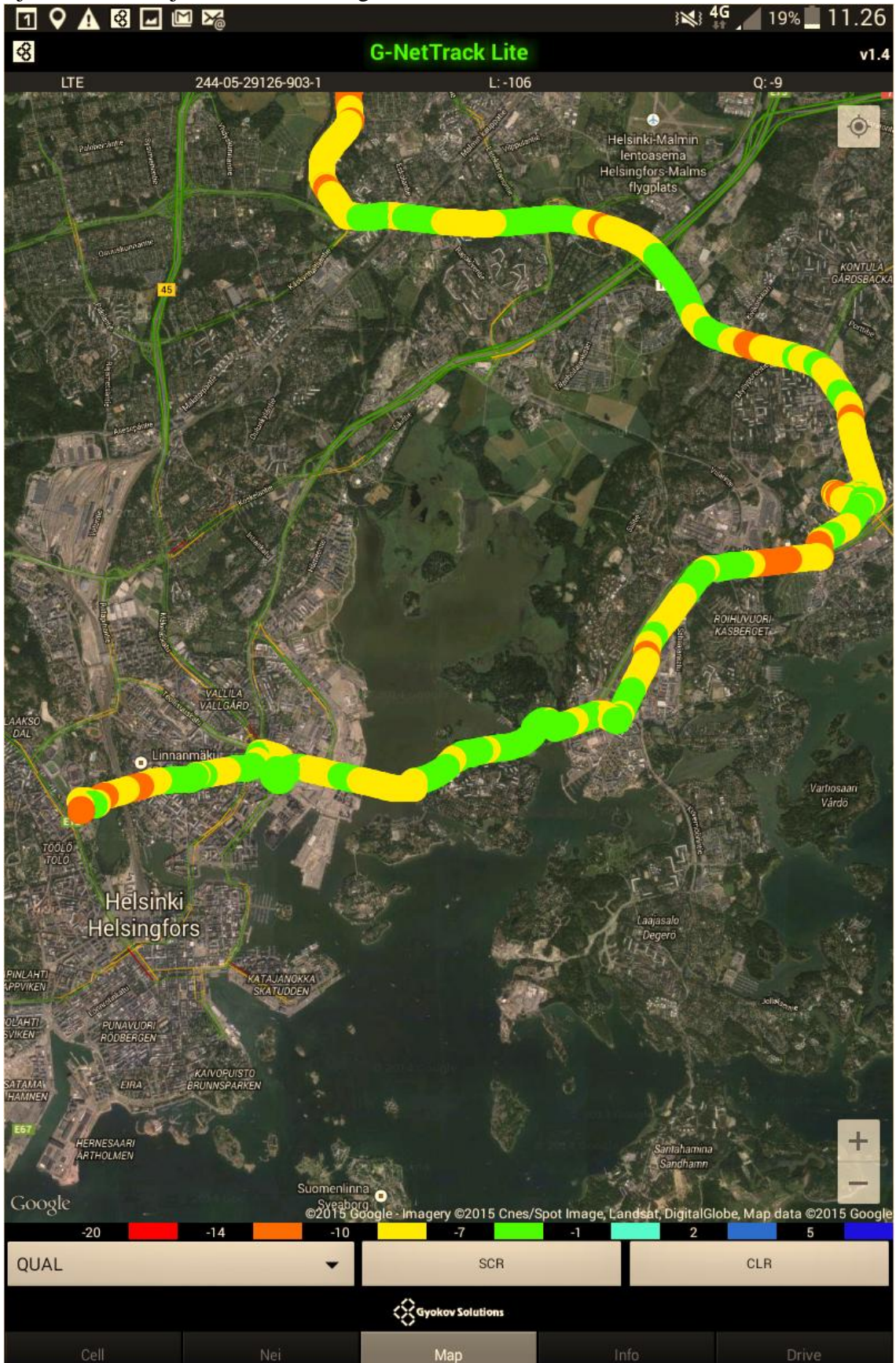
Testisovelluksella saatavaa tietoa yhteydestä 2



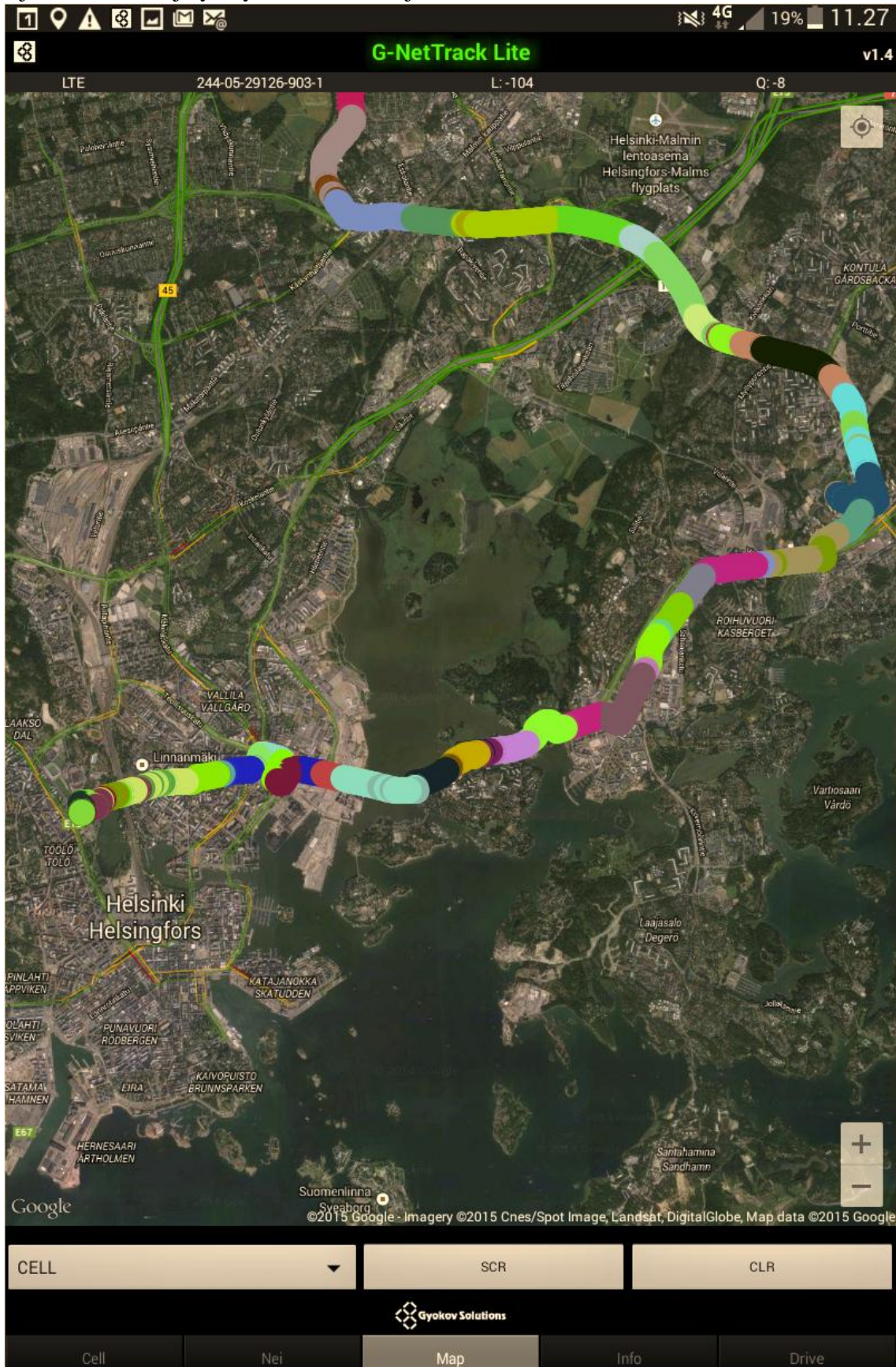
Ajettu testireitti, ja vastaanotetun signaalin tason vaihtelu.



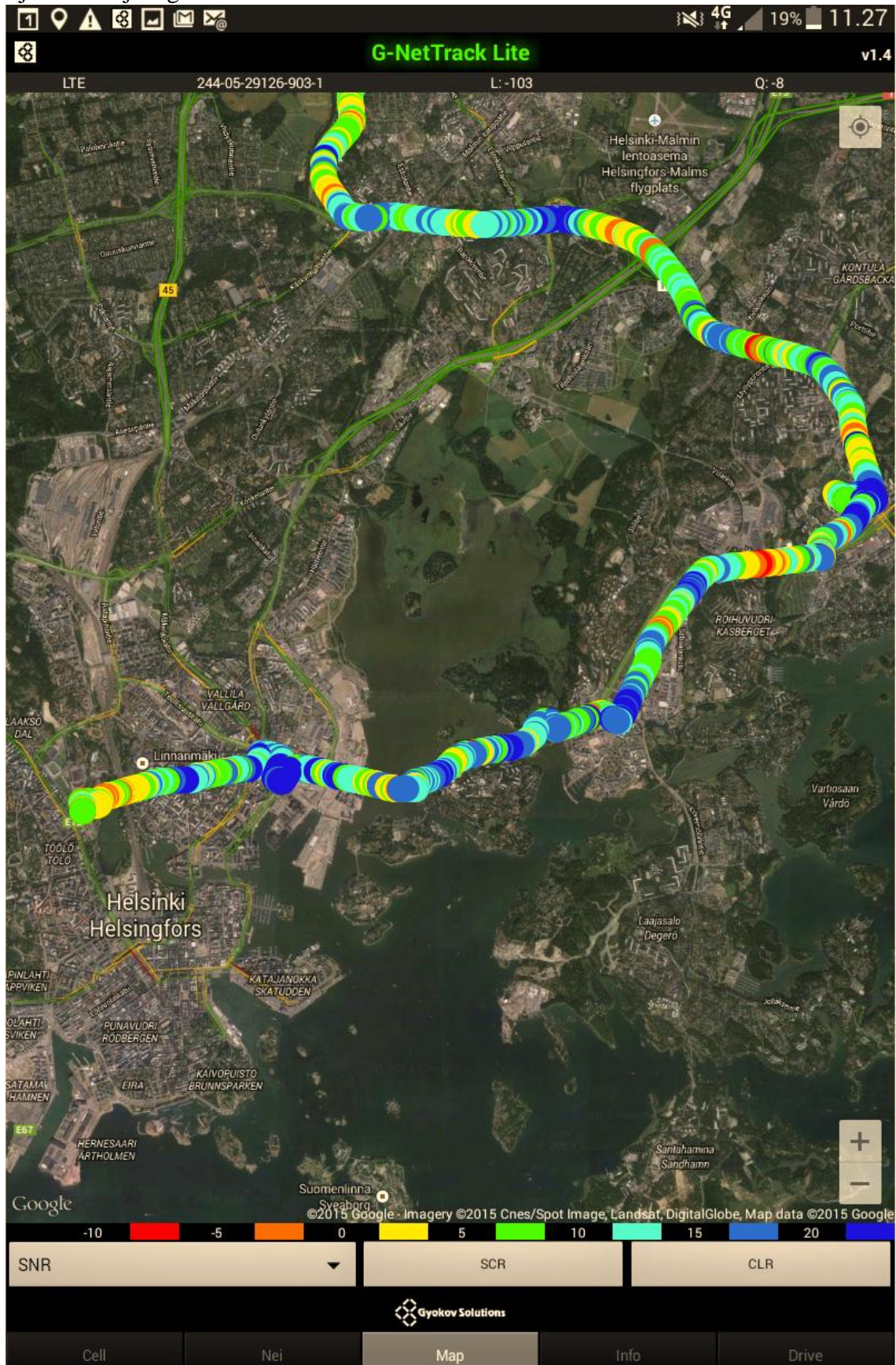
Ajettu testireitti, ja vastaanotetun signaalin laadun vaihtelu



Ajettu testireitti, ja yhteyden siirrot solujen välillä.



Ajettu reitti ja signaalin kohinatason vaihtelu.



Reitin varrella tehdyt latausnopeustestit.

TYPE	TIME	DOWNLOAD (Mbps)	UPLOAD (Mbps)	PING (ms)
📶	09.03.2015 11.21	32,96	10,05	35
📶	09.03.2015 11.19	41,33	8,29	39
📶	09.03.2015 11.15	42,82	12,17	36
📶	09.03.2015 11.14	44,93	17,20	35
📶	09.03.2015 11.12	12,11	2,15	40
📶	09.03.2015 11.10	85,31	22,05	34
📶	09.03.2015 11.00	75,55	29,50	33
📶	09.03.2015 10.59	45,05	14,77	33
📶	09.03.2015 10.58	90,43	27,53	34
📶	09.03.2015 10.57	36,33	29,22	35
📶	09.03.2015 10.55	39,72	25,35	41
📶	09.03.2015 10.53	79,10	27,91	38
📶	09.03.2015 10.52	61,13	30,40	33
📶	09.03.2015 10.51	71,31	29,94	38
📶	09.03.2015 10.48	78,72	20,45	37
📶	09.03.2015 10.44	89,10	27,10	35
📶	09.03.2015 10.27	7,76	2,00	35