

Sami Seikkula

NB-IOT-MODEEMIN TESTAUSTYÖKALU CMW500-TESTILAITTEELLE

NB-IOT-MODEEMIN TESTAUSTYÖKALU CMW500-TESTILAITTEELLE

Sami Seikkula
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, ohjelmistokehitys

Tekijä(t): Sami Seikkula

Opinnäytetyön nimi: NB-IoT-modeemin testaustyökalu CMW500-testilaitteelle

Työn ohjaaja: Timo Vainio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 49 + 2

Tämä opinnäytetyö keskittyy Altair Semiconductorin NB-IoT-modeemituotteiden fyysisen kerroksen testaukseen Rohde & Schwarz CMW500-testilaitteella. Työhön kuuluu testaustyökalun kehittäminen CMW500-testilaitteelle ja työkalun integrointi laajempaan testausympäristöön. Työn osana on myös varsinaisten testien määrittely yhteistyössä modeemin fyysisen kerroksen suunnittelijoiden kanssa. Työn käsittelemä testaus on puhtaasti tuotekehitykseen liittyvää ohjelmistojä ja laitteistotestausta, eikä tuotantolinjan testausta. Työn virallinen toimeksiantaja on ALT Semiconductor Finland Oy.

Opinnäytetyössä sovelletaan opinnäytetyön tekijän aikaisempaa työkokemusta yrityksessä sekä koulutuksen ja harrastuneisuuden kautta saavutettua tietotaitoa. Työn aihealue keskittyy NB-IoT-verkkostandardiin, joka on LTE-verkkostandardiin pohjautuva uusi standardi. Työn konkreettisia tietolähteitä ovat muun muassa virallinen 3GPP-spesifikaatio, NB-IoT-standardiin ja digitaaliseen viestintään syventyvät kirjat sekä Internet-lähteet.

Työssä esiteltävä testaustyökalu CMW500-testilaitteelle on toteutettu MATLAB-ohjelmointikielellä. Työ pohjautuu CMW500-laitteen tarjoamaan SCPI-komentorajapintaan. Varsinaisten testien määrittely työkalulle tapahtuu Excelin kautta.

Tämän työn kautta saavutetut tulokset laajentavat Altair Semiconductorin NB-IoT-modeemituotteiden fyysisen kerroksen testausta. Laajentuneen ja täysin automaattisen testauksen ansiosta osa mahdollisista virheistä kehitystyössä kyetään havaitsemaan ja korjaamaan nopeammin kuin aikaisemmin.

Asiasanat: NB-IoT, LTE, modeemi, langaton tiedonsiirto, testaus, automaatio

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

Author(s): Sami Seikkula

Title of thesis: NB-IoT modem test utility for CMW500 test equipment

Supervisor(s): Timo Vainio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020 Number of pages: 49 + 2

This thesis focuses on the testing of the physical layer of Altair Semiconductor's NB-IoT modem products. The testing is done with a R&S CMW500 test equipment unit. The thesis work consists of development of a test automation utility for the CMW500 tester and its integration into a larger test environment. In addition to the development of this test automation utility, the actual test cases are to be specified as well, with the help and expertise of the modem's physical layer designers. The testing work that this thesis focuses on is related to research and development efforts, and not the testing of a production line. The official client for this thesis work is ALT Semiconductor Finland Oy.

The completion of the thesis work exploits the author's previous work experience at Altair Semiconductor, as well as the author's education background and personal interest towards the field. The actual subject matter of this thesis focuses on a network standard called NB-IoT, which is a new radio access technology based on LTE. The work references various information sources, such as the official 3GPP specification, books which cover NB-IoT and digital communications, as well as some Internet sources.

The test automation utility introduced in this thesis is written in the MATLAB programming language. The utility is based on the remote operation capabilities of the CMW500 test equipment. Test cases are specified with Excel.

The results achieved through this thesis work expand the testing capabilities of Altair Semiconductor's NB-IoT modem products. Increased testing capabilities enable a smoother research and development process, where a portion of potential issues can be noticed and fixed earlier than before.

Keywords: NB-IoT, LTE, modem, wireless data transmission, testing, automation

SISÄLLYS

SANASTO	7
ALKUSANAT	13
1. JOHDANTO	14
2. KESKEISET TEKNOLOGIAT.....	15
2.1 Esineiden Internet.....	15
2.1.1 3GPP	16
2.1.2 EC-GSM-IOT	16
2.1.3 LTE-M	16
2.1.4 NB-IOT	17
2.2 Modeemi	19
2.3 ALT1250.....	19
2.4 CWM500-testilaite.....	19
2.5 SCPI-standardi.....	21
3. TYÖN TAVOITTEET	22
4. TYÖN ETENEMINEN	23
4.1 Kehitystyön prosessi.....	23
4.2 Siirtotyö.....	24
4.3 Lähettimen testauksen tuki	25
4.4 Integraatio.....	25
4.5 Testien määrittely.....	25
5. TESTIAUTOMAATORATKAISU	26
5.1 Toiminta.....	26
5.2 Arkkitehtuuri	28
5.2.1 Järjestelmäarkkitehtuuri	28
5.2.2 Ohjelmistoarkkitehtuuri	29
5.2.2.1 KÄYTTÖLIITTYMÄKERROS.....	29
5.2.2.2 TESTI	30
5.2.2.3 TESTIOHJELMAN OHJAUSKERROS	31
5.2.2.4 TESTIFUNKTIOKERROS	31
5.2.2.5 POHJAKERROS	31

6. TESTAUS	33
6.1 Modeemin vaiheet testin aikana.....	33
6.2 Testifunktiot	35
6.2.1 BLER-testifunktio	37
6.2.2 Lähettimen testifunktiot.....	37
6.2.3 Toimettomuuden testifunktio	38
6.3 Testauskäyrät.....	38
6.4 Esimerkkitestit.....	41
6.5 Testitulokset	43
7. POHDINTA.....	46
LÄHTEET	48
LIITTEET	50

SANASTO

3GPP

Televiestintään keskittyvä standardointijärjestö.

Ajoitusvirhe

Ajoitusvirhe mittaa modeemin kykyä lähettää tietoa synkronoidusti tukiaseman kanssa. Lähetyksessä modeemi käyttää ajoituksen viitearvona palvelevasta NB-IoT-solusta perittävää vastaanoton ajoitusta. 3GPP-spesifikaatio määrittelee ajoitusvirheen maksimiarvoksi 80 Ts, mutta ainoastaan ensimmäiselle lähetykserralle. Lähetyksertoja voi olla useampia jos verkko määrittelee lähetykselle toistoja. (7, s. 251.)

Alikehys

Termi, jolla viitataan 1 ms pituiseen radiolähetykseen. Yksi radiokehys koostuu kymmenestä alikehyksestä. (3, s. 11–12.)

Apukantaaalto

Nousevalla siirtotiellä datan lähetyksessä hyödynnetään joko yhtä tai useampaa apukantaaaltoa. Apukantaaaltoja voi olla joko 1, 3, 6 tai 12, ja niiden etäisyys toisistaan määrittyy apukantaaaltojen välistyksen mukaisesti. Välistys voi olla joko 3,75 kHz tai 15 kHz. Mikäli välistys on 3,75 kHz, NB-IoT-standardi sallii vain yhden apukantaaallon käyttämisen. Kun apukantaaaltoja lisätään, lähetyksien ajallinen kesto lyhenee koska lähetyksessä hyödynnettävä taajuuskaista kasvaa. (3, s. 19–20.)

Asiakasohjelma

Termi, jota käytetään asiakas-palvelin arkkitehtuurin asiakas-puolen ohjelmalle. Asiakasohjelma keskustelee palvelinohjelman kanssa, joka tarjoaa palveluita asiakasohjelmalle. (18.)

BLER

BLER (Block Error Ratio) kertoo virheellisten vastaanotettujen siirtolohkojen määrästä suhteessa lähetettyihin siirtolohkoihin. Virheellinen siirtolohko on sellainen jonka CRC-koodi on väärä. (9, s. 2096.)

Bluetooth

Lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtoteknologia.

CMW500

Testilaitteen virallinen mallitunniste.

CRC

CRC (Cyclic Redundancy Check) on virheetunnistuskoodi, joka mahdollistaa siirtotiesä tapahtuvan informaation hajoamisen tai korruption havaitsemisen. Jokaiselle lähetettävälle siirtolohkolle lasketaan oma CRC-koodi. Vastaanottaja voi sitten laskea vastaanotetusta paketista CRC-koodin uudestaan ja verrata saatua laskutulosta vastaanotettuun CRC-koodiin. Mikäli CRC-koodit ovat samat, voidaan siirtolohko todeta virheettömäksi. (8.)

EC-GSM-IoT

Extended Coverage Global System for Mobile Communications Internet of Things

EVM

Yksinkertaistettuna EVM (Error Vector Magnitude) on testilaitteen generoiman signaalin ja modeemin lähettämän signaalin erotuksesta peritty virhearvo, joka kertoo moduloidun signaalin eheydestä. Mitä pienempi EVM, sitä lähempänä modeemin moduloitu signaali on testilaitteen generoimaa viitesignaalia. 3GPP-spesifikaatio määrittelee sallituksi EVM:n raja-arvoksi 17.5 %. (6, s. 286–287.)

Excel

Microsoftin luoma ja julkaisema laskentataulukko-ohjelma.

IoT

Internet of Things

Käytetty kaistanleveys

Käytetty kaistanleveys kuvastaa lähetyksessä hyödynnettyä kaistanleveyttä. 3GPP-spesifikaatio määrittelee suurimmaksi sallituksi kaistanleveydeksi 200 kHz. (6, s. 149.)

Laskeva siirtotie

Siirtotie tukiasemasta matkaviestimeen. (12.)

LTE

Long Term Evolution

LTE-M

Long Term Evolution for Machine-Type Communications

Lähetysteho

Lähetysteho kertoo yksinkertaisesti radiolähteyksen voimakkuudesta. 3GPP-spesifikaatio määrittelee laitteen maksimilähetystehon sekä sallitun virhemarginaalin. Maksimiteho määrittyy laitekategorian, teholuokan sekä valitun taajuuskaistan mukaisesti. Teholuokkaan 3 kuuluvan laitteen maksimilähetysteho kaikilla soveltuvilla taajuuskaistoilla on 23 dBm. Teholuokan 3 maksimitehoille on määritelty 2 dBm virhemarginaali. Soveltuvat taajuuskaistat määrittyvät laitekategorian mukaisesti, joka NB-IoT-modeemin tapauksessa on joko NB1 tai NB2. (6, s. 166–167.)

MATLAB

Insinööreille ja tutkijoille suunnattu ohjelmisto ja ohjelmointikieli. (14.)

MAC

Medium Access Control

MCS

MCS (Modulation and Coding Scheme) kertoo käytetystä koodauksesta ja modulaatiosta.

Metodi

Olio-ohjelmoinnissa käytetty termi, jolla viitataan luokassa määriteltyyn funktioon.

MIB

MIB (Master Information Block) on NPBCH-kanavassa toimitettu järjestelmäviesti, joka määrittelee NB-IoT-verkon olennaisia tietoja. NB-IoT:n tapauksessa MIB-viestien virallinen tunniste on MIB-NB. (1, s. 240.)

NB-IoT

Narrowband IoT

Nouseva siirtotie

Siirtotie matkaviestimestä tukiasemaan. (12.)

NPBCH

NPBCH (Narrowband Physical Broadcast Channel) on fyysinen kanava, joka välittää MIB-NB järjestelmäviestin. (1, s. 240.)

NPDCCH

NPDCCH (Narrowband Physical Downlink Control Channel) on ohjaustietojen lähetykseen hyödynnettävä fyysinen kanava. (1, s. 243.)

NPDSCH

NPDSCH (Narrowband Physical Downlink Shared Channel) on datan ja järjestelmäviestien vastaanotossa hyödynnettävä fyysinen kanava. (1, s. 245.)

NPRACH

NPRACH (Narrowband Physical Random Access Channel) on lähetyksen tiedonsiirtokanava, jota modeemi hyödyntää yhdistäessään soluun. (3, s. 27.)

NPSS

NPSS (Narrowband Primary Synchronization Signal) on solun synkronoinnissa hyödynnettävä fyysinen signaali. (3, s. 13.)

NPUSCH

NPUSCH (Narrowband Physical Uplink Shared Channel) on datan ja ohjausviestien lähetykseen käytetty tiedonsiirtokanava.

NRS

NRS (Narrowband Reference Signal) on NB-IoT-standardin mukainen viitesignaali, jonka tukiasema lähettää jokaiseen lähetykelpoiseen alikehykseen. (3, s. 12.)

NSSS

NSSS (Narrowband Secondary Synchronization Signal) on solun synkronoinnissa hyödynnettävä fyysinen signaali. (3, s. 13.)

PC

Personal Computer

Radiokehys

Termi, jolla viitataan 10 ms pituiseen radiolähetykseen. (3, s. 11–12.)

Regressiotestaus

Testausmuoto, jonka avulla pyritään havaitsemaan toimiviksi todettujen ominaisuuksien mahdollinen rikkoontuminen.

RF

RF (Radio Frequency) on alalla käytetty lyhenne, jolla viitataan varsinaisiin radiotaajuuksiin ja signaaleihin.

R&S

Rohde & Schwarz

SCPI

Standard Commands for Programmable Instruments

SIB

SIB (System Information Block) on NB-LoT-solun järjestelmäviesti, joka pätee kaikkiin solun asiakkaisiin. SIB-viestejä on monenlaisia ja ne on numeroitu. NB-LoT:n tapauksessa SIB-viestien virallinen tunniste on SIB-NB. (3, s. 25.)

Siirtolohko

Datan lähetyksessä käytetty termi, jolla viitataan MAC-sovelluskerroksen määrittelemiin datalähettyksiin.

SNR

SNR (Signal to Noise Ratio) on mitattavan signaalin ja kohinan välinen suhdeluku. Ilmaistaan desibeleissä (dB).

Taajuusvirhe

Taajuusvirhe kuvastaa lähetyksen kantotaajuudessa ilmenevää virhettä. 3GPP-spesifikaatio määrittelee suurimmaksi sallituksi virhearvoksi 0.2 ppm, kun kantotaajuus on pienempi tai yhtä suuri kuin 1 GHz, ja 0.1 ppm kun kantotaajuus on suurempi kuin 1 GHz. (6, s. 285–286.)

Ts

LTE:ssä käytetty ajan perusyksikkö, joka perustuu seuraavaan matemaattiseen kaavaan.

KAAVA 1. Ts-aikayksikön kaava (15, s. 9)

$$\frac{1}{\Delta f_{ref} \times N_{f,ref}}, \text{ missä } \Delta f_{ref} = 15 \times 10^3 \text{ Hz ja } N_{f,ref} = 2048$$

Kaavan tulos on pyöristettynä 32,6 ns. Kaavassa käytetty Δf_{ref} viittaa 15 kHz kokoiseen apukantoaallon välistykseen, ja $N_{f,ref}$ viittaa suurimpaan mahdolliseen apukantoaaltojen määrään LTE-järjestelmässä (17, s. 5–6).

WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network) on standardiperhe, joka määrittelee langattoman lähiverkon tiedonsiirtoteknologian.

ALKUSANAT

Erikoiskiitokset seuraaville ALT Semiconductor Finland Oy:n työntekijöille, jotka ovat olleet osana tämän opinnäytetyön valmistumista:

Antti Känsäkoski

Ari Hautakoski

Ganesh Venkatraman

Janne Pekkanen

Juha Kuronen

Paavo Hahtola

Kiitän myös ALT Semiconductor Finland Oy:tä opinnäytetyön toimeksiannosta, ja kiitän yrityksen koko henkilöstöä tarjoamastaan tuesta opintojeni varrella. Yrityksen monipuoliset työtehtävät sekä mainio henkilöstö ovat mahdollistaneet nopean kasvun tietoliikennealan asiantuntijaksi.

Oulussa 1.4.2020

Sami Seikkula

1. JOHDANTO

Laite- ja ohjelmistosuunnittelussa testaus on yksi tuotekehitysprosessin olennaisista työvaiheista. Kattavan testauksen avulla voidaan varmistaa mm. tuotteen yhteensopivuus standardiin, tuotteen toiminnalliset ominaisuudet sekä tuotteen suorituskyky. Järkevässä ohjelmiston tuotekehitysprosessissa testaus pyritään toteuttamaan automaattisesti. Automaattisen testauksen avulla uusien muutoksien toimivuus ja yhteensopivuus kehitettävässä tuotteessa voidaan varmentaa säännöllisin väliajoin tai jokaisen muutoksen jälkeen.

Tämä opinnäytetyö keskittyy Altair Semiconductorin NB-LoT-modeemituotteiden toiminnalliseen testaukseen CMW500-testilaitetta hyödyntäen. Työn tavoitteena on kehittää NB-LoT-modeemien testaukseen soveltuva testaustyökalu, laajentaen yrityksen olemassa olevaa LTE-M -verkkostandardiin soveltuvaa työkalua. Toisena tavoitteena työllä on varsinaisten testien määrittely kehitetylle työkalulle. Kolmas ja viimeinen tavoite on työkalun ja testien integroiminen laajempaan testausympäristöön, jossa määritellyjä testejä voidaan ajaa automaattisesti säännöllisin väliajoin.

Työ alkaa tutustumisella työssä käsiteltäviin keskeisiin teknologioihin. Tämän jälkeen määritellään työn tavoitteet. Tavoitemäärittelyn jälkeen kerrotaan työn etenemisestä yleistasolla, jonka jälkeen siirrytään käsittelemään varsinaista testaustyökalua. Lopuksi työ kiteyttää varsinaiset tulokset testaus-luvussa (luku 6), missä kerrotaan, kuinka testausta voi suorittaa kehitettyä testaustyökalua hyödyntäen.

Opinnäytetyö on osa Oulun ammattikorkeakoulun tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelman opintoja. Työn virallinen toimeksiantaja on ALT Semiconductor Finland Oy. Työ toteutettiin kevään 2020 aikana.

2. KESKEISET TEKNOLOGIAT

Tässä luvussa tutustutaan työn keskeisiin teknologioihin: esineiden Internetiin, työlle oleellisiin IoT-mobiiliverkkostandardeihin, modeemiin sekä CMW500-testilaitteeseen.

2.1 Esineiden Internet

Esineiden Internet, englannin kielellä Internet of Things, lyhennettynä IoT, on tietoliikennealan uusi tulokas, jonka perustarkoitus on yhdistää mikä tahansa laite laajaan Internet-verkkoon. Sähkön, kaasun ja veden mittauslaitteet ovat hyviä esimerkkejä uusista Internetiin yhdistettävistä laitteista. Tällaisia uusia mittalaitteita hyödynnetään jo Euroopan talousalueella, ja mm. Iso-Britannia on aloittanut hankkeen, jonka tarkoituksena on korvata 53 miljoonaa energian ja kaasun kulutusta mittaavaa mittaria IoT-mittareilla, joiden avulla käyttäjät saisivat lähes reaaliaikaista tietoa energiankäytöstään. (1, s. 2.)

Tällaisia IoT-mittalaitteita voidaan yhdistää Internetiin esimerkiksi mobiiliverkkoa hyödyntäen. Tätä varten tarvitaan avuksi modeemi, joka tukee jotakin valikoitua mobiiliverkkostandardia.

Kolme ajankohtaisinta mobiiliverkkostandardia IoT-sektorille ovat EC-GSM-IoT, NB-IoT ja LTE-M. Nämä standardit ovat kaikki 3GPP-järjestön määrittelemiä, ja ne on suunnattu lisensoituille taajuuskaistoille. Lisensoidut taajuudet ovat valtioiden tai alueellisten hallitusten määrittelemiä taajuusalueita, joiden pääasiallinen käyttötarkoitus on jonkin julkisen palvelun toimittaminen yhteiskunnalle. (1, s. 3–8.)

Verkkostandardit määrittelevät hyvin yksityiskohtaisesti kuinka mobiiliverkon tukiasema ja pääte-laite, tämän työn tapauksessa modeemi, keskustelevat keskenään. Tämä työ keskittyy nimenomaan NB-IoT-verkkostandardiin.

2.1.1 3GPP

3GPP on standardointijärjestö, joka tarjoaa jäsenilleen vakaan ympäristön tietoliikenneteknologioiden raporttien ja spesifikaatioiden määrittelyyn. Järjestön jäsenenä toimii seitsemän eri tietoliikenteen standardisointiin keskittyvää organisaatiota. (4.)

3GPP-järjestö julkaisee uusia spesifikaatioita tietyin väliajoin, ja nämä julkaisut on versioitu numerolla. NB-IoT-verkkostandardi on määritelty julkaisussa numero 13, ja julkaisussa 14 siihen on lisätty uusia ominaisuuksia. Kun spesifikaatiot on määritelty ja julkaistu - esimerkiksi version 13 tapauksessa - julkaisuun ei enää lisätä uusia ominaisuuksia, vaan ne lisätään seuraavaan spesifikaatioiden julkaisuun. Julkaisujen versiointi tällä tavalla antaa kehittäjille vakaan ympäristön keskittyä tietyn julkaisun kehittämiseen. (13.)

3GPP-julkaisut sisältävät suuren määrän erilaisia spesifikaatiodokumentteja, jotka kukin määrittelevät oman osa-alueensa asioita. Yksi dokumentti saattaa olla jopa yli 2000 sivua pitkä (9).

Käytännössä kaikki mobiiliverkkoteknologioita kehittävät tahot ovat tekemisissä 3GPP-järjestön määrittelemien spesifikaatioiden kanssa.

2.1.2 EC-GSM-IoT

EC-GSM-IoT on GSM-tekniikkaan pohjautuva IoT-sektorille suunnattu mobiiliverkkostandardi. Standardi on taaksepäin yhteensopiva GSM-standardin kanssa, mikä tarkoittaa sitä että operaattoreiden ja laitevalmistajien on helppo tarjota tukensa tälle standardille. Standardi poikkeaa GSM:stä mm. rajoittamalla käytetyn taajuuskaistan 600 kHz:iin, päivittämällä verkon turvallisuutta LTE/4G -tasolle sekä tarjoamalla tuen suurelle yhdistettyjen laitteiden lukumäärälle. (1, s. 32–36.)

2.1.3 LTE-M

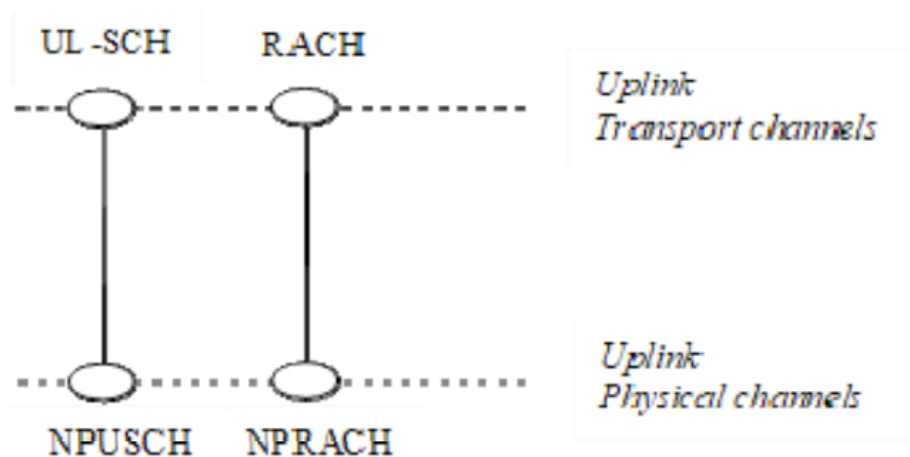
LTE-M on IoT-sektorille suunnattu standardi, jolla on samanlaiset tavoitteet kuin NB-IoT-standardi. Toisin kuin NB-IoT, LTE-M on suunniteltu laajenuksena jo valmiiseen LTE-standardiin. LTE-M poikkeaa LTE:stä mm. pienentämällä lähetyksien ja vastaanottojen maksiminopeuksia, pienen-

tämällä päätelaitteen lähetystehoa sekä käyttämällä kapeampaa kaistanleveyttä. Kaistanleveyden pienentäminen ei kuitenkaan ole yhtä suurta kuin NB-IoT-standardissa, minkä seurauksena LTE-M -standardi mahdollistaa suuremmat datasiirtonopeudet kuin NB-IoT. (1, s. 136–139.)

2.1.4 NB-IoT

NB-IoT on kapeaa taajuuskaistaa hyödyntävä uusi mobiiliverkkostandardi. Verkkostandardi pohjautuu vahvasti jo valmiiseen LTE-standardiin, mutta ei kuitenkaan ole taaksepäin yhteensopiva minkään verkkostandardin kanssa, toisin kuin EC-GSM-IoT ja LTE-M. Verkkostandardin päätavoitteina ovat suuri yhdistettyjen laitteiden lukumäärä solussa, mahdollisimman pieni virrankulutus päätelaitteissa, luotettava toimivuus heikoissakin signaaliolosuhteissa sekä halpa päätelaitteen hinta. Verkkostandardi on määritelty toimimaan 180 kHz:in taajuuskaistalla, mikä mm. mahdollistaa sen käyttöönottamisen GSM:n ja LTE:n rinnalle. (1, s. 218–222.)

NB-IoT-standardi määrittelee nousevalle siirtotielle kaksi fyysistä kanavaa: NPUSCH ja NPRACH (kuvio 1), sekä eri viestimuo-dot: NPUSCH1, NPUSCH2. Lisäksi standardi määrittelee NPRACH-kanavan johdantoviestit. (3, s. 18–23.)

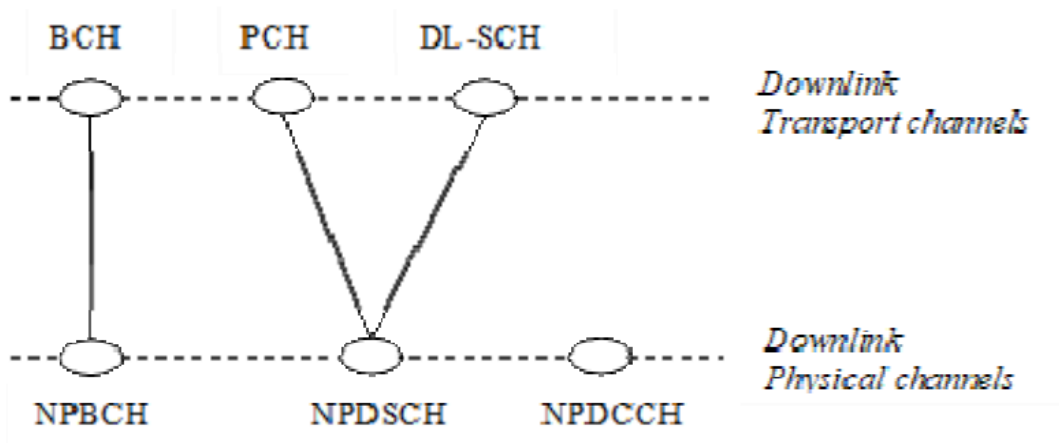


KUVIO 1. Nousevan siirtotien fyysiset kanavat ja siirtokanavat (19, s. 73)

NPUSCH-kanava on datan ja ohjaustietojen siirtoon suunnattu lähetyskanava. NPUSCH1-viestimuoto on varattu varsinaiselle lähtevälle datalle. NPUSCH2-viestimuoto on varattu lähtevälle ohjaustiedolle, mikä 3GPP-julkaisu 13:n tapauksessa on rajattu laskevan siirtotien lähetysten kuit-taukselle. (3, s. 19–20.)

NPRACH-kanavaa hyödynnetään soluun liittymisessä. NPRACH-kanavaa pitkin lähetetään johdantoviestejä, joita on kahdenlaisia: 0 ja 1. (3, s. 21–23, 27.)

Laskevalle siirtotielle on määritetty kolme fyysistä kanavaa: NPBCH, NPDCCH ja NPDSCH (kuvio 2), sekä fyysiset signaalit: NRS, NPSS ja NSSS. (3, s. 10.)



KUVIO 2. Laskevan siirtotien fyysiset kanavat ja siirtokanavat (19, s. 73)

NPBCH-kanavaa käytetään Master Information Blockin, tai MIB:in lähetykseen. MIB sisältää olennaisia parametreja, joita modeemi tarvitsee NB-LoT-verkossa toimimiseen. (1, s. 240.)

NPDCCH-kanavaa käytetään Downlink Control Information, tai DCI:n lähetykseen. DCI on ohjausviesti, joka on jaettu kolmeen eri viestimutoon: N0, N1 ja N2. (1, s. 243.)

NPDSCH-kanavaa käytetään varsinaisen datan sekä erilaisten järjestelmäviestien lähetykseen. (1, s. 245.)

Fyysisiä signaaleja NRS, NPSS ja NSSS käytetään hyväksi solun kanssa synkronointiin sekä solun tehon mittauksiin.

2.2 Modeemi

Modeemi on tiedon siirtämiseen suunniteltu laite, joka muuntaa digitaalisia binäärisekvenssejä analogisiksi signaaleiksi modulaatiotekniikkaa hyödyntäen sekä vastaavasti muuntaa analogisia signaaleja digitaalisiksi binäärisekvensseiksi demodulaatiotekniikkaa hyödyntäen. Moduloitu signaali kyetään lähettämään tiedonsiirtokanavaa pitkin eteenpäin, ja vastaavasti moduloituja signaaleja on mahdollista vastaanottaa tiedonsiirtokanavasta. (2, s. 3–4.)

Tiedonsiirtokanava, tai kanava, on tiedonsiirron lähteen ja määränpään välissä oleva määritelty tekijä, joka ei ole modeemisuunnittelijan hallittavissa. Tiedonsiirtokanavana voi toimia esimerkiksi kaapeli, kun puhutaan kiinteästä verkosta tai ilma ja tyhjiö kun puhutaan langattomista verkoista. Kanava ei kuitenkaan kuvasta pelkästään fyysistä väliainetta lähteen ja määränpään välissä, vaan kanavalla saattaa olla myös määriteltyjä rajoituksia. Modeemia suunniteltaessa nämä kanavakohtaiset rajoitukset tulee ottaa huomioon. (2, s. 7–9.)

Kun tässä työssä käsitellään NB-LoT-modeemia, tarkoitetaan modeemia, joka on suunniteltu NB-LoT-standardiin yhteensopivaksi. NB-LoT-standardi määrittelee mm. edellä mainittujen tiedonsiirtokanavien ominaisuuksia ja rajoituksia, kanavissa hyödynnettävää modulaatiotekniikkaa sekä tiedonsiirrossa hyödynnettävää kaistanleveyttä. (3.)

2.3 ALT1250

ALT1250 on Altair Semiconductorin modeemi, joka tukee sekä LTE-M- että NB-LoT-verkkostandardia. Modeemi luokitellaan CAT-M-, CAT-NB1- ja CAT-NB2-laitteeksi. Se on suunniteltu käyttämään mahdollisimman vähän virtaa ja soveltuu moniin eri käyttötarkoituksiin IoT-markkinoilla. Modeemi tukee 3GPP:n julkaisuja 13 ja 14. (16.)

2.4 CWM500-testilaite

Rohde & Schwarz CMW500 on monipuolinen testilaite, jolla voidaan simuloida erilaisia olosuhteita ja tilanteita jossa testattava päätelaite saattaa olla. CMW500 on universaali testilaite, joka tukee useita eri mobiiliverkkostandardeja ja lisensoimattomia taajuuskaistoja hyödyntäviä standar-

deja kuten Bluetooth ja WLAN. Testilaitteella on mahdollista testata useita eri päätelaitteen ominaisuuksia, kuten laitteen RF-ominaisuuksia, sen yhteensopivuutta verkkoon sekä laitteen ylempiä protokollakerroksia. Tuotekehityksen yhteydessä tapahtuvan testauksen lisäksi laitteella voi myös tehdä hyväksyttämistestausta. (5.)

Testattaessa NB-IoT-modeemia, testilaitteeseen on mahdollista määrittellä mm. standardin mukaisia tukiaseman solun parametreja, erilaisia kohinasimulaatioita sekä naapurisoluja. Modeemin voi sitten kytkeä testilaitteeseen, ja testilaitteeseen asetettu solu näyttäytyy modeemille kuin oikean tukiaseman solu. Testilaitteella on mahdollista mitata modeemin lähettimen ja vastaanottimen suorituskykyä, ja täten on mahdollista määrittellä mittauksiin perustuvia testejä.

Erialaisten testien suorittaminen CMW500-testilaitteessa on varsin yksinkertaista. Laitteeseen asetetaan halutut soluparametrit sekä datan lähetyksen ja vastaanottoparametrit. Tämän jälkeen yksi tai useampi solu kytketään päälle, jonka jälkeen solut ovat CMW500-testilaitteeseen kytketyn modeemin löydettävissä.

Modeemi puolestaan voidaan määrittellä hakemaan solua tietyltä taajuusalueelta, ja solun löydettyään modeemi pyrkii liittymään siihen. Liittymisen jälkeen modeemi voi pysytellä solussa tekemättä mitään tai se voi aloittaa datan lähetyksen muodostamalla yhteyden tukiaseman kanssa (3, s. 28–31). Yhteyden muodostus voi tapahtua joko modeemin toimesta tai verkon toimesta. Tämän työn tapauksessa verkkona toimii testilaitte. Testilaitteen puolelta yhteys muodostetaan hyödyntäen testilaitteen graafista käyttöliittymää tai vastaavaa SCPI-komentoa (10, s. 44).

2.5 SCPI-standardi

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) on standardi, joka määrittelee erilaisen testi- ja mittalaitteiden etäohjauksessa käytettävän komentosyntaksin (11, 1.3). Syntaksin lisäksi SCPI määrittelee myös komentoja, jotka ovat kaikki samanlaisia eri testilaitteiden välillä (11, 4.1.1).

Alla esimerkki yhdestä SCPI-komennosta, mitä tämän opinnäytetyön kautta kehitetyssä työkalussa hyödynnetään. Kyseinen komento aloittaa tai käynnistää uudelleen CMW500-testilaitteessa suoritettavat BLER-mittaukset. (10, s. 213.)

INITiate:NIOT:SIGN:BLER

3. TYÖN TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteet määräytyivät aloituspalaverissa, jossa työlle määriteltiin seuraavat tavoitteet:

- NB-LoT-modeemin testaukseen soveltuva työkalu
- SCPI-komentorajapinnan toteutus CMW500-testilaitteen NB-LoT-signaalintiohjelmalle
- lähettimen testauksen tuki testaustyökalulle
- varsinaisten testien määrittely
- integraatio automatisoituun testausympäristöön.

Koska alkuperäisessä työkalussa ei ollut vielä tukea lähettimen testaukselle, tämän komponentin suunnittelu ja toteutus oli myös osana työmääräystä.

Käytännön työosuus toteutettiin seuraavanlaisessa järjestyksessä:

1. testaustyökalun siirtotyö NB-LoT-ympäristöön sopivaksi
2. SCPI-komentorajapinnan suunnittelu ja toteutus
3. lähettimen testauksen tuki
4. integraatio automatisoituun testausympäristöön
5. testien määrittely.

Integrointi automatisoituun testausympäristöön aloitettiin samaan aikaan kuin testien määrittely, jotta testejä voitaisiin niiden valmistuttua lisätä saman tien osaksi automatisoitua testausta.

4. TYÖN ETENEMINEN

Työ eteni luvun 3 tavoitteiden ja järjestyksen mukaisesti. Tässä luvussa kuvataan lyhyesti kehitystyön prosessikäytäntö, työvaiheet ja vaiheisiin sisältyvät työtehtävät.

4.1 Kehitystyön prosessi

Testaustyökalun kehitysprosessi oli luonteeltaan iteratiivinen ja perustui jatkuvan integraation prosessikäytäntöön. Työkalu rakennettiin valmiissa testiympäristössä CMW500-testilaitteeseen jo yhdistettynä. Työskentely keskittyi yhden ominaisuuden tai ominaisuuksien ryhmittymän toteuttamiseen kerrallaan. Kun ominaisuus tai niiden ryhmittymä valmistui, ne testattiin välittömästi todellisessa testiympäristössä. Kun käsin tehty integraatiotesti läpäistiin, muutokset kirjattiin koodikantaan. Tämä prosessi toistui monta kertaa.

SCPI-komentorajapinnan kehitystyössä käytettiin hyväksi R&S VISA -ohjelmaa. Ohjelmalla voi lähettää CMW500-testilaitteelle SCPI-komentoja ja lukea laitteen palauttamien vastaukset. Komentojen lähettäminen ja vastauksien lukeminen suoraan tällaisen ohjelman kautta nopeutti kehitystyötä huomattavasti. SCPI-komennon paikkaansa pitävyys voitiin varmistaa ohjelman avulla ennen sen integroimista varsinaiseen MATLAB-funktioon.

Varsinaiset SCPI-komennot ja testilaitteen ominaisuudet selvisivät testilaitteen omasta käyttöohjeesta. Käyttöohjeessa kerrottiin hyvin yksityiskohtaisesti jokainen laitteen tukema SCPI-komento, sekä minkälaisia parametreja SCPI-komennon mukana voi syöttää.

Integraatiotestauksessa hyödynnettiin sekä MATLAB-konsoliin tulostuvaa lokia että CMW500-testilaitteen sisäistä etäkommentolokia. Etäkommentoloki kirjaa kaikki vastaanotetut komennot ja takaisin lähetetyt vastaukset. Loki kirjaa myös kaikki etäkomentoihin liittyvät virhetilanteet, kuten kirjoitusvirheet tai laittomat arvot. Etäkommentoloki auttoi löytämään virhetilanteita, jotka ilmenivät vasta integraatiotestauksessa, eli todellisessa testaustyökalun käytössä.

Iteratiivisen prosessin, VISA-apuohjelman sekä CMW500-testilaitteen lokin lisäksi kehitystyössä pyrittiin noudattamaan puolustuksellista ohjelmointityyliä:

- SCPI-rajapinnan asetusmetodien funktioargumentit tarkistetaan eikä virheellisiä arvoja sallita.
- CMW500-testilaitteelta luetut merkkijonot esikäsitellään näkymättömien merkkien poistolla ennen niiden palauttamista noutometodista.
- Kun luettuja merkkijonoja käytetään koodin haaroittamiseen, laittomat merkkijonot johtavat määriteltyyn virhetilanteeseen.
- Testilaitteeseen asetettavat solu-, lähetys- ja vastaanottoparametrit tarkistetaan niiden asettamisen jälkeen lukemalla uusi arvo testilaitteesta ja vertaamalla sitä haluttuun arvoon.

Puolustuksellista ohjelmointitapaa hyödyntämällä toteutettu ohjelmisto tarkistaa osan mahdollisista virhetilanteista, eikä salli ohjelmiston ajautumista määrittelemättömiin virhetilanteisiin.

4.2 Siirtotyö

Siirtotyössä keskityttiin muokkaamaan olemassa olevaa LTE-M verkkostandardin mukaista testaustyökalua niin, että työkalua olisi mahdollista käyttää NB-LoT-modeemin testaukseen. Siirtotyön suurin vaihe oli NB-LoT-standardille soveltuvan SCPI-komentorajapinnan kirjoittaminen.

CMW500-testilaitteessa on asennettuna signalointi-ohjelmia, joiden tarkoitus on simuloida verkkostandardien mukaisia soluja. NB-LoT:n tapauksessa puhutaan NB-LoT-signalointi-ohjelmasta. Hyödynnettävät SCPI-komennot ovat erilaiset LTE-M- ja NB-LoT-signalointi-ohjelmissa, ja tästä syystä SCPI-komentorajapinta piti määritellä uusiksi NB-LoT-signalointi-ohjelmalle. Osa LTE-M-SCPI-komennoista oli mahdollista siirtää NB-LoT-rajapinnan puolelle hyvin pienillä muutoksilla, osa vaati suuria muutoksia. NB-LoT-rajapintaan lisättiin myös uusia komentoja. (10, s. 13.)

SCPI-rajapinnan toteuttamisen lisäksi siirtotyön aikana tehtiin pieniä muutoksia olemassa olevaan ohjauskoodiin ja olemassa oleviin testifunktioihin.

4.3 Lähettimen testauksen tuki

Tuki lähettimen testaukselle vaati SCPI-rajapinnan laajentamista siten, että CMW500-testilaitteen tarjoamia modeemin lähettimen mittauksia pystyi tekemään etänä. Tämän lisäksi kirjoitettiin kaksi uutta testifunktiota NPUSCH- ja NPRACH-kanavien testaukseen, sekä muita testaukselle oleellisia funktioita.

4.4 Integraatio

Integraatiovaiheessa testaustyökalu ja muut vaadittavat ohjelmistot - kuten testipalvelimen asiakasohjelma - asennettiin tietokoneeseen, jossa varsinaista testausta haluttiin suorittaa. Tämä tietokone oli jo valmiiksi kytketty CMW500-testilaitteeseen sekä NB-IoT-modeemiin. Tietokone yhdistettiin myös testipalvelimeen, jonka kautta testiajoja voi hallita ja katsella etänä.

Integraatiovaiheessa testausohjelmaa alettiin testaamaan käytännössä, ja tämän testauksen myötä monia virheitä saatiin karsittua pois ennen virallisten testien ajoa.

4.5 Testien määrittely

Testien määrittelyvaiheessa määriteltiin ja kirjoitettiin varsinaiset testit regressiotestausta varten. Määritellyt testit jaettiin karkeasti kahteen osaan:

- Laskevan ja nousevan siirtotien toiminnallinen regressiotestaus.
- Lähettimen ominaisuuksien regressiotestaus.

Lähettimen ominaisuuksien testauksessa hyödynnettiin uutta lähettimen testauksen komponenttia. Laskevan ja nousevan siirtotien toiminnallisessa testauksessa hyödynnettiin siirtotyön ja SCPI-rajapinnan laajennuksen myötä saavutettuja toimintoja.

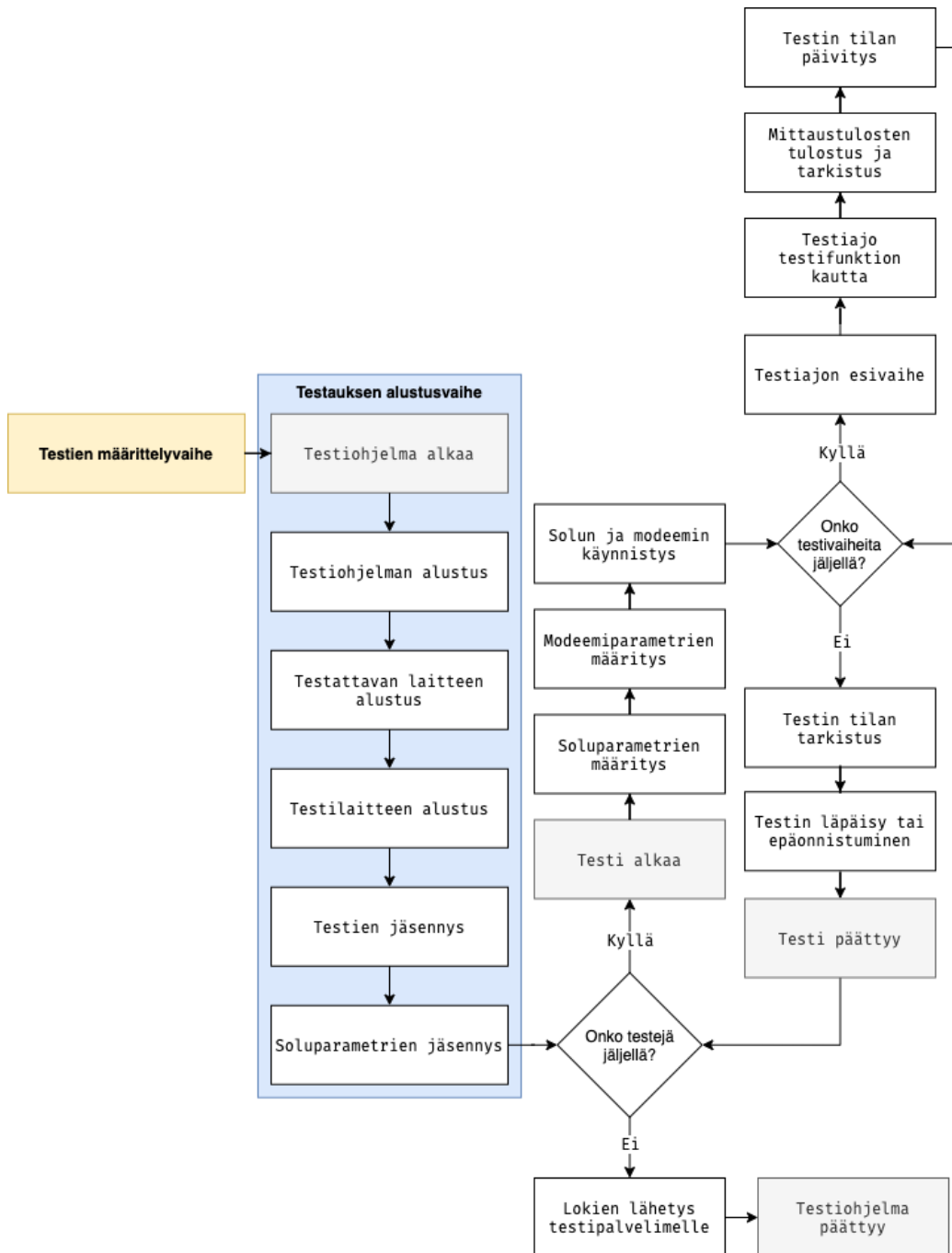
5. TESTIAUTOMAATORATKAISU

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin toteutettuun testaustyökaluun. Työkalu on MATLAB-kielillä kirjoitettu ohjelma, joka lukee käyttäjän syöttämiä tietoja Excel-laskentataulukosta, ja sitten ohjaa verkkoon kytkettyä CMW500-testilaitetta sekä tietokoneeseen kytkettyä modeemilaitetta laskentataulukon määriteltyjen ohjeiden mukaisesti. MATLAB-ohjelmaan on rakennettu tuki erilaisille testifunktioille, jotka suorittavat esimääriteltyjä toimenpiteitä sekä CMW500-laitteessa että kytketyssä modeemissa. Testifunktioihin sisältyy myös erilaisten raja-arvojen tarkistusvaihe, jonka perusteella ohjelma määrittelee yksittäisen testin joko onnistuneen tai epäonnistuneen.

5.1 Toiminta

Käyttö alkaa testien määrittelyvaiheesta (kuvio 3), jossa käyttäjä asettaa Excel-laskentataulukon määrittelyksiä halutuista NB-IoT-soluparametreista sekä ajettavista testeistä. Seuraavaksi voidaan käynnistää varsinainen testaustyökalu. Käynnistyksen yhteydessä testaustyökalulle annetaan polku Excel-tiedostoon. Käynnistyksen jälkeen suoritetaan alustusvaihe, jonka aikana alustetaan MATLAB-pohjainen testausympäristö, modeemi sekä CMW500-testilaitte. Alustusvaiheessa jäsennetään myös varsinainen Excel-tiedosto MATLAB-ympäristössä hyödynnettäviin sisäisiin muuttujiin.

Alustusvaiheen jälkeen siirytään varsinaiseen testausvaiheeseen. Testausvaiheessa testausta suoritetaan, kunnes kaikki Excel-tiedostossa määritellyistä testeistä on ajettu loppuun. Testejä ajetaan peräkkäin, yksi kerrallaan. Jokainen testi alkaa soluparametrien määrittelyllä CMW500-testilaitteeseen ja vastaavien modeemiparametrien määrittelyllä modeemiin. Lisäksi testilaitteeseen määritellään myös datan lähetykseen ja vastaanottoon liittyvät parametrit. Tämän jälkeen sekä solu että modeemi käynnistetään ja testissä määriteltyjen testivaiheiden ajo voi alkaa. Testivaiheita voi olla yksi tai useampi.



KUVIO 3. Testaustyökalun toiminnan vuokaavio

Testivaiheen osana on esivaihe ja varsinainen testiajo testausfunktion kautta. Kun testiajo on päättynyt, testiajossa suoritettavat mittaukset tarkistetaan ja tulostetaan käyttäjälle. Tämän jälkeen testin tila päivitetään joko onnistuneeksi tai epäonnistuneeksi, riippuen mittaustuloksista. Kun kaikki testausvaiheet on suoritettu, testin tila tarkistetaan ja tulostetaan käyttäjälle.

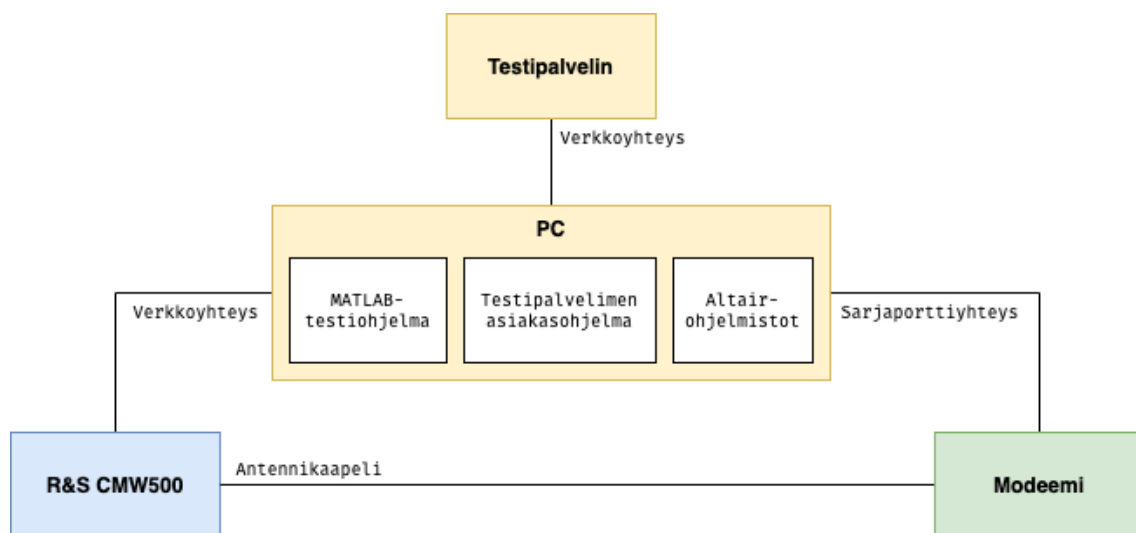
Lopuksi, kun kaikki testit on ajettu, modeemin lokit arkistoidaan testipalvelimelle lähetyksestä varten, jonka jälkeen testiohjelma päättyy.

5.2 Arkkitehtuuri

Testausympäristö koostuu useasta eri osasta. Tässä osiossa esitellään korkean tason järjestelmäarkkitehtuuri sekä ohjelmistoarkkitehtuuri. Järjestelmäarkkitehtuuri kuvastaa fyysistä testausympäristöä missä testejä ajetaan. Ohjelmistoarkkitehtuuri kuvastaa testaustyökalun sisäistä rakennetta.

5.2.1 Järjestelmäarkkitehtuuri

Testaukseen liittyvän järjestelmän arkkitehtuuri näyttää kuvion 4 mukaiselta.

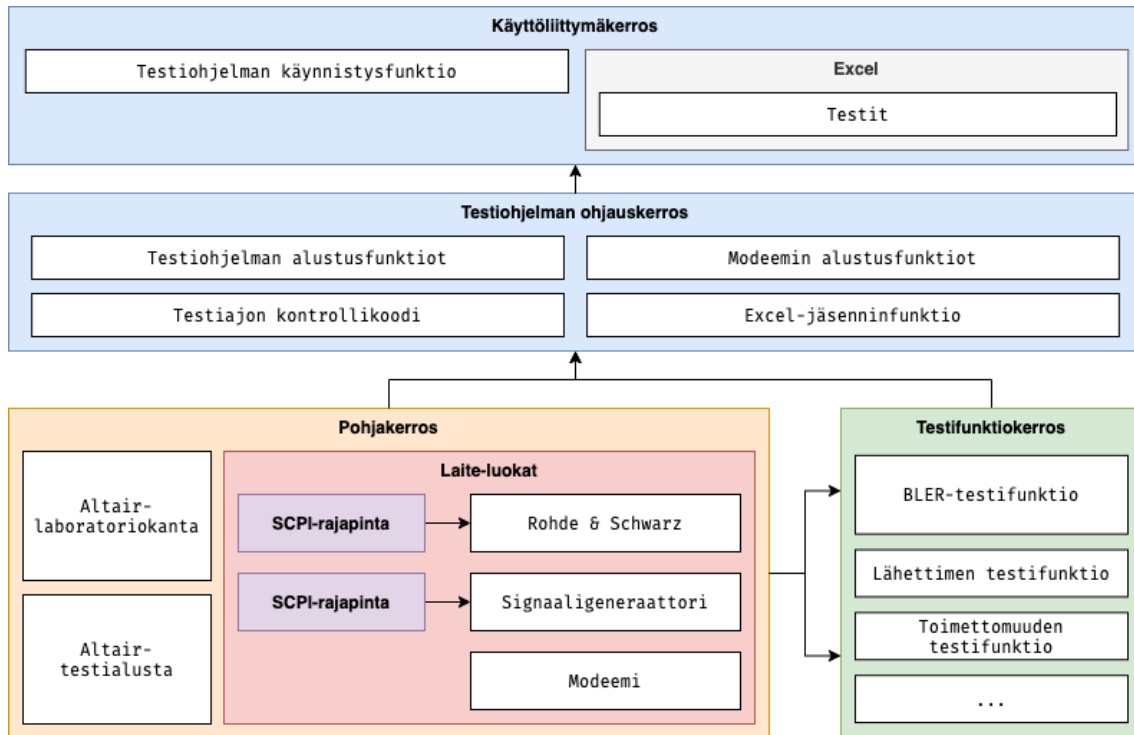


KUVIO 4. Järjestelmäarkkitehtuuri

Testauksen keskipisteenä on hallitseva PC, johon on asennettu MATLAB-testausohjelma, testipalvelimen asiakasohjelma sekä Altair-ohjelmistot. Altair-ohjelmistot ovat Altair Semiconductorin omia ohjelmia, jotka vaaditaan kyseisessä testiympäristössä. Altairin-ohjelmistojen kautta määritellään mm. modeemin käyttämät sarjaportit sekä hallitaan modeemin lokitusta. Testi-PC on sitten yhdistetty verkkoyhteyden kautta sekä testipalvelimeen että CMW500-testilaitteeseen. Lisäksi testi-PC on yhdistetty testattavaan modeemilaitteeseen sarjaporttisyhteyden kautta. Modeemi on yhdistetty CMW500-testilaitteeseen antennijohtimen kautta.

5.2.2 Ohjelmistoarkkitehtuuri

Testausohjelman ohjelmistoarkkitehtuuri näyttää kuvion 5 mukaiselta.



KUVIO 5. Ohjelmistoarkkitehtuuri

Ohjelmistoarkkitehtuuri on tämän ohjelman kannalta järkevintä esittää kuvion mukaisina kerroksina ja komponentteina. Kuvion osoittamat nuolet kertovat jonkin kerroksen tarjoamasta toiminnallisuudesta nuolen osoittamaan kerrokseen tai ohjelmistokomponenttiin. Kuvion nuolia seuraamalla kyetään rakentamaan mielikuva komponenttien ja kerrosten välisistä riippuvuussuhteista.

5.2.2.1 Käyttöliittymäkerros

Käyttöliittymäkerros kuvastaa sitä ohjelman osaa, minkä kanssa varsinainen käyttäjä on tekemisissä ohjelmaa käyttäessään. Testaustyökalun käyttöliittymäkerros koostuu kahdesta komponentista:

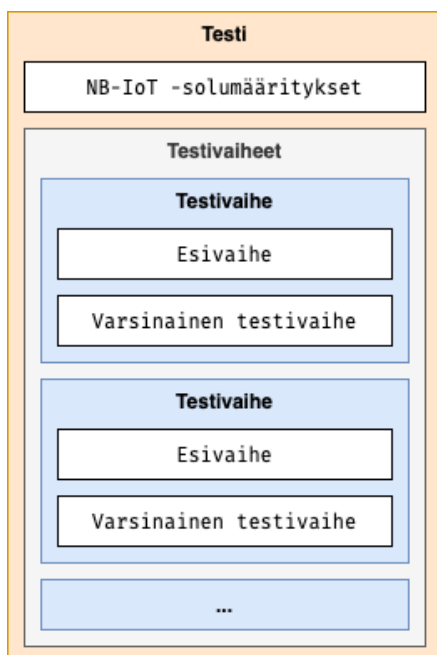
- testiohjelman käynnistysfunktio
- Excel-laskentataulukko

Testiohjelman käynnistysfunktio on funktio, jonka kautta CMW500-testausohjelma käynnistetään. Käyttäjä syöttää käynnistysfunktion polun Excel-laskentataulukkoon. Excel-tilukko määrittelee NB-IoT-soluparametrit sekä suoritettavat testit.

Excel-laskentataulukon rakenne on jäsennelty kolmeen eri välilehteen. Ensimmäisellä välilehdellä käyttäjä määrittelee haluamansa testit. Toisella välilehdellä käyttäjä voi määritellä erilaisia NB-IoT-solumääriytyksiä, joita ensimmäisen välilehden testit hyödyntävät. Kolmas välilehti on ohjelmallinen välilehti, johon on määritelty oikeat arvot NB-IoT-solumääriytysten tekemiseen.

5.2.2.2 Testi

Testit koostuvat NB-IoT-solumääriytyksistä ja testivaiheista (kuvio 6). Yhdessä testissä voi olla yksi tai useampi testivaihe. Jokaisessa testivaiheessa on esivaihe ja varsinainen testivaihe. Esivaiheessa voidaan säätää esimerkiksi solun NRS-tehoa. Varsinaisessa testivaiheessa voidaan suorittaa jokin esimääritellyistä testifunktioista.



KUVIO 6. Määritelty testi

5.2.2.3 Testiohjelman ohjauskerros

Testiohjelman ohjauskerros on testausohjelman ydin. Tämä kerros tarjoaa pääasialliset toiminnot testaustyökalun alustamiseen, modeemin alustamiseen, Excel-laskentataulukon jäsentelyyn sekä varsinaiseen testiajoon.

5.2.2.4 Testifunktiokerros

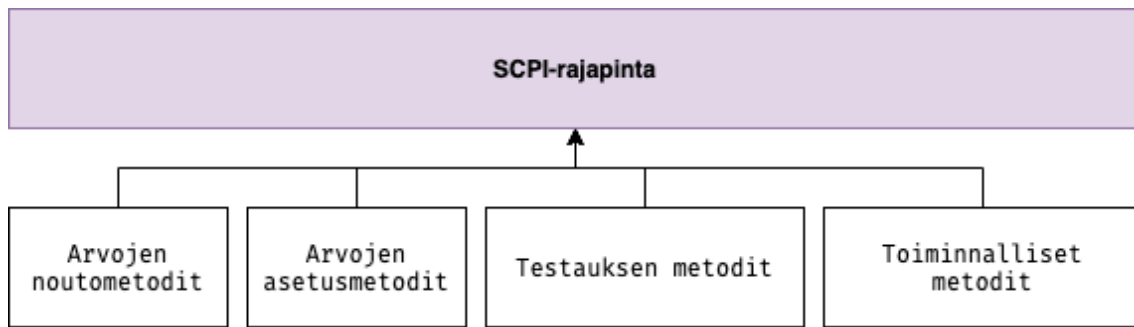
Testifunktiokerros sisältää varsinaiset testifunktiot, joiden kautta varsinaiset testit käynnistetään. Testifunktion käynnistysvaiheessa NB-LoT-solu on jo määritelty, ja sekä modeemi että NB-LoT-solu on asetettu päälle. Testifunktiossa säädetään testille olennaiset parametrit testilaitteeseen, ja sen jälkeen kutsutaan vastaavaa testifunktiota testilaiteluokasta. Testin päätyttyä testifunktiossa asetetaan kyseisen testin läpäisyn tila.

Testifunktioita ei ole sidottu millään tavalla muuhun koodiin, vaan funktiokutsut määritellään varsinaiseen ajettavaan testiin Excel-laskentataulukon kautta. Tämä tekee uusien testifunktioiden luomisesta ja käyttöönotosta yksinkertaista.

Testifunktiot perustuvat CMW500-testilaitteen tarjoamiin mittaustoimintoihin, ja kapseloivat sisäänsä vaaditut SCPI-komennot ja muut funktiot, joiden kautta testilaitteen mittaustoimintoja voidaan käyttää etäohjatusti.

5.2.2.5 Pohjakerros

Pohjakerros kuvastaa jo valmista koodikantaa, jonka päälle testaustyökalu on rakennettu. Tämä kerros sisältää Altairin testausalustan koodin sekä muuta koodia, jota ylemmät kerrokset käyttävät hyväkseen. Lisäksi tämä kerros sisältää laiteluokkia, jotka kapseloivat sisäänsä jonkin fyysisen laitteen toiminnot. Jokaisella testilaitteella on oma SCPI-rajapinta (kuviokuva 7), jonka kautta testilaitteen kanssa voi kommunikoida.



KUVIO 7. SCPI-rajapinta

SCPI-rajapinta koostuu laitteen sisäisten arvojen nouto- ja asetusmetodeista, testaukseen liittyvistä metodeista sekä toiminnallisista metodeista. Esimerkiksi NB-IoT-soluparametrien muuttaminen CMW500-testilaitteessa hoituu asetusmetodeilla, kun taas mittaustulosten luku laitteesta hoituu noutometodeilla. Testauksen metodit ovat luokan sisäisiä metodeja, joiden kautta varsinainen testin toteutus tapahtuu. Toiminnalliset metodit kattavat muita testilaitteen toimintoja, kuten järjestelmän oletusasetuksien palauttamista tai tallennettujen asetustiedostojen lataamista laitteeseen.

6. TESTAUS

Toteutetulla testaustyökalulla on mahdollista testata sekä nousevaa- ja laskevaa siirtotietä. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin, kuinka kehitettyä testaustyökalua käytetään varsinaisessa testauksessa.

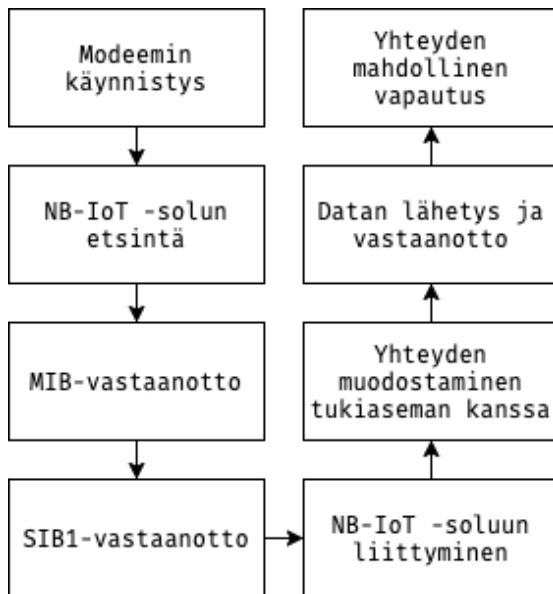
Nousevan siirtotien testauksessa kiinnitetään huomiota seuraaviin CMW500-testilaitteen tarjoamiin mitattaviin suureisiin:

- EVM
- lähetysteho
- ajoitusvirhe
- taajuusvirhe
- käytetty kaistanleveys
- BLER.

Toisin kuin nousevassa siirtotiessä, laskevan siirtotien testauksessa on hyödynnettävissä vain BLER-mittasuure.

6.1 Modeemin vaiheet testin aikana

Kun modeemi käynnistetään, se alkaa etsimään NB-IoT-solua esimääritelyjen asetusten perusteella (kuvio 8). Nämä asetukset on määritelty modeemiparametrien määrittelyvaiheessa (kuvio 3). Olennaiset asetukset solun löytämiselle on taajuuskaistan valinta sekä haussa käytetyn taajuusalueen määrittely. Käytetty taajuuskaista sekä lähetysten että vastaanoton keskitaajuudet määräytyvät tukiaseman - tässä tapauksessa CMW500-testilaitteen - kautta.



KUVIO 8. Modeemin vaiheet testissä

Solun etsinnässä modeemi pyrkii löytämään asetetulta taajuusalueelta NPSS- ja NSSF -signaaleja, joiden avulla modeemin on mahdollista suorittaa alustava synkronointi solun kanssa. Synkronoinnilla tarkoitetaan modeemin sisäisten ajoitusten ja taajuuksien linjaamista NB-IoT-solun NPSS- ja NSSF -signaalien kanssa. (1, s. 234–235.)

Alustavan synkronointivaiheen jälkeen modeemin on mahdollista vastaanottaa MIB-järjestelmäviesti hyödyntäen NPBCH-kanavaa. Tämän jälkeen on myös mahdollista vastaanottaa SIB1-järjestelmäviesti. Nämä järjestelmäviestit sisältävät tietoja, joita modeemi tarvitsee toimiessaan NB-IoT-verkossa. (3, s. 24–26.)

Järjestelmäviestien vastaanoton ja dekodauksen jälkeen on mahdollista suorittaa soluun liittyminen käyttäen hyväksi NPRACH-kanavaa ja kanavan kautta lähetettyjä johdantoviestejä. (3, s. 27.)

Soluun liittymisen jälkeen voidaan muodostaa varsinainen yhteys tukiaseman kanssa, jonka avulla kyetään joko lähettämään tai vastaanottamaan dataa. Datan siirron jälkeen yhteys on mahdollista vapauttaa, jolloin modeemi siirtyy toimeettomaan tilaan. Toimeettomasta tilasta on mahdollista muodostaa uusi yhteys, mikäli modeemi tai tukiasema - tässä tapauksessa CMW500-testilaitte - haluaa lähettää dataa toisilleen. (3, s. 24–31.)

Nämä vaiheet kattavat suurimmaksi osaksi modeemin toiminnan testin aikana. Suurin osa testeistä keskittyy datan lähettämiseen ja vastaanottoon, mutta osa keskittyy myös pitkiin taukoihin, joita suoritetaan toimettomassa tilassa.

6.2 Testifunktiot

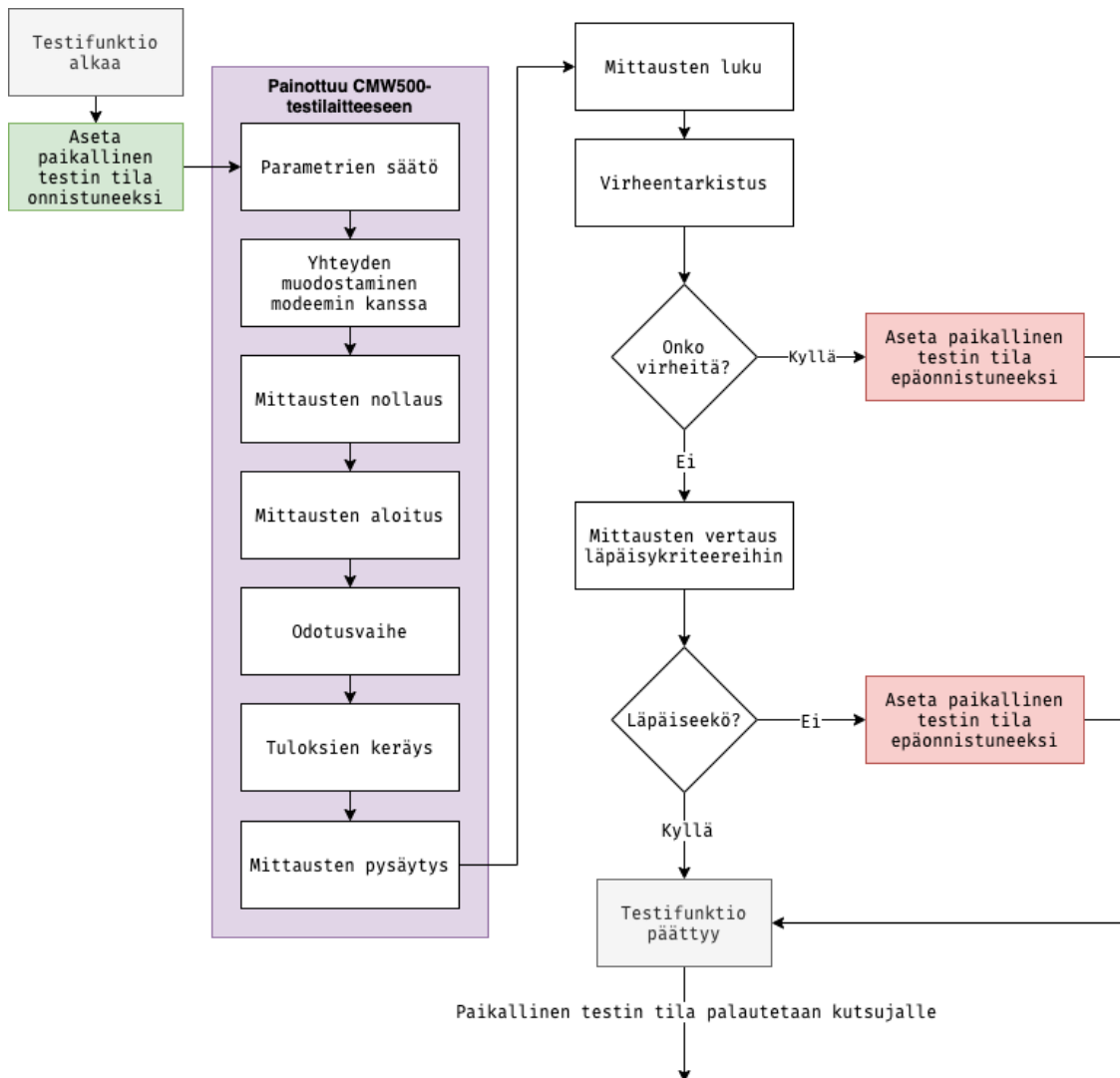
Nousevan ja laskevan siirtotien testeissä hyödynnetään seuraavia testifunktioita:

- BLER-testifunktio
- lähettimen testifunktiot
- toimettomuuden testifunktio.

BLER-testifunktio testaa nousevan ja laskevan siirtotietä hyödyntäen BLER-suuretta. Lähettimen testifunktiot testaavat radiolähettimen ominaisuuksia, ja toimettomuuden testifunktio testaa NB-IoT-standardin mukaista toimettomuustilaa.

Testifunktion oletus on onnistunut testi, ja täten tila asetetaan onnistuneeksi aina testin alussa (kuvio 9). Tämän jälkeen CMW500-laitteeseen asetetaan testin parametrit: mm. mitattavien näyttöjen määrä sekä mittauksien kohde. Tämän jälkeen CMW500 viestii modeemille - jonka pitäisi jo olla liittynyt soluun - että haluaa muodostaa tiedonsiirtoyhteyden sen kanssa. Koska CMW500 alkaa lähettämään ja vastaanottamaan dataa välittömästi yhteyden muodostuksen jälkeen, voidaan mittaukset aloittaa ilman lisävaiheita.

Mittauksien aloituksen jälkeen siirrytään odotusvaiheeseen, jossa CMW500-testilaitteelta kysellään sekunnin välein mittauksen tilaa sekä modeemin tilaa solussa. Mikäli modeemi menettää yhteyden soluun mittauksien aikana, testi luokitellaan epäonnistuneeksi. Kun mittaukset ovat valmiit, odotusvaiheesta siirrytään eteenpäin.



KUVIO 9. Testifunktion toiminta

Tulosten keräämisen ja mittauksen pysäytyksen jälkeen, mittaustulokset luetaan MATLAB-ohjelman puolelle ja ne tarkistetaan virheiden varalta. Virheiden tarkistus tapahtuu CMW500-laitteen tarjoamien virhekoodien myötä. Virheen sattuessa CMW500 ilmoittaa siitä virhekoodilla, joka on osa luettuja mittaustuloksia. Virhekoodeja on kymmeniä erilaisia, riippuen sattuneesta virheestä. (10, s. 284–288.)

Virheiden tarkistuksen jälkeen mittaustulokset tarkistetaan varsinaisia kriteerejä vasten, ja mikäli tulokset täyttävät testin vaatimukset, testi päättyy onnistuneesti.

6.2.1 BLER-testifunktio

BLER-testifunktio testaa modeemin kykyä lähettää ja/tai vastaanottaa dataa CMW500-testilaitteeseen määritetyn solun kanssa. Data on tässä yhteydessä siirtolohko, jonka koko biteissä voi vaihdella riippuen CMW500-testilaitteeseen määritellyistä asetuksista (10, s. 25).

Testifunktioon syötetään seuraavat parametrit:

- mittausten lukumäärä tai testin kesto
- mittauksen kohde
- BLER-läpäisykriteeri

Mittausten lukumäärä kertoo siitä, kuinka monta datapakettia otetaan yhdessä testissä vastaan (10, s. 215). Vaihtoehtoisesti, jos kyseessä on pelkästään datapakettien lähetyksien testi, täytyy käyttäjän määritellä testin kesto sekunneissa. Tämä johtuu siitä, että CMW500-testilaitte laskee vain vastaanotetut datapaketit osaksi mittausten lukumäärää.

Mittauksen kohde määrittelee, mitataanko pelkästään vastaanotettuja tai lähetettyjä paketteja vaiko molempia. BLER-läpäisykriteeri kertoo odotetusta BLER-arvosta prosentteina.

6.2.2 Lähettimen testifunktiot

Lähettimen testifunktioita on kaksi kappaletta, joista toisella testataan NPUSCH-kanavassa liikkuvaa dataa ja toisella testataan NPRACH-kanavassa liikkuvaa dataa.

Lähetystestifunktioiden avulla modeemin lähettimen ominaisuuksia on mahdollista testata tarkemmin kuin pelkän BLER-testin avulla. Lähetystestifunktio testaa seuraavia modeemin lähettimen teknisiä ominaisuuksia:

- EVM
- lähetysteho
- taajuusvirhe
- ajoitusvirhe
- käytetty kaistanleveys.

Testifunktioon syötetään seuraavat parametrit:

- mittausten lukumäärä
- mittauksen kohde
- läpäisykriteerit.

Testifunktiossa valitaan mittauksien lukumäärä, mittauksen kohde sekä läpäisykriteerit. Mittauksen kohde voi NPUSCH-testifunktion tapauksessa olla joko NPUSCH1-viesti tai NPUSCH2-viesti. NPRACH-testifunktion tapauksessa mittauksen kohde on aina johdantoviesti. Johdantoviestejä on kahden tyyppisiä, mutta viestin tyyppiä ei määritellä testifunktioon, vaan se määrittää osaksi soluparametreja. Läpäisykriteerinä lähettimen testifunktioissa toimii kaikki edellä mainitut mittasuureet.

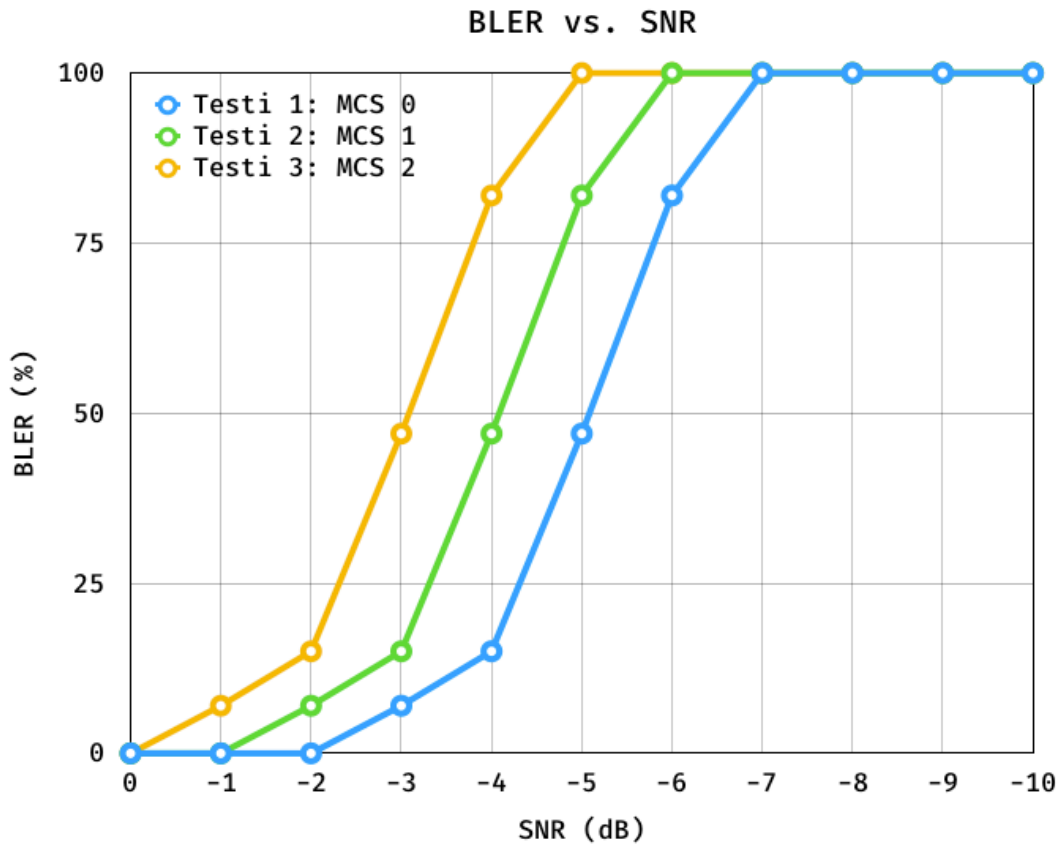
6.2.3 Toimettomuuden testifunktio

Toimettomuuden testifunktio on testifunktio, jossa tarkastellaan modeemin kykyä pysyä NB-IoT-solussa kytkeytyneenä toimettomassa tilassa. Funktio hyväksyy yhden parametrin, joka on testin kesto sekunteina. Funktio toimii siten, että kun modeemi on liittynyt soluun ja muodostanut yhteyden tukiaseman kanssa, yhteys vapautetaan automaattisen ajastimen kautta. Tämä automaattinen yhteyden vapautus on mahdollista määrittellä soluparametrien kautta. Yhteyden vapautuksen jälkeen modeemi siirtyy toimettomaan tilaan. Tämän jälkeen modeemin tilaa tarkastellaan sekunnin välein SCPI-komentorajapintaa hyödyntäen. Mikäli modeemi menettää yhteyden soluun, testi epäonnistuu.

6.3 Testauskäyrät

Koska testaustyökalussa on mahdollista ajaa useampia testivaiheita yhdessä testissä, on työkalulla mahdollista määrittellä testauskäyriä. Testauskäyrällä tarkoitetaan tässä yhteydessä käyrää, joka kuvaa testattavien parametrien vuorovaikutusta mittaustuloksiin.

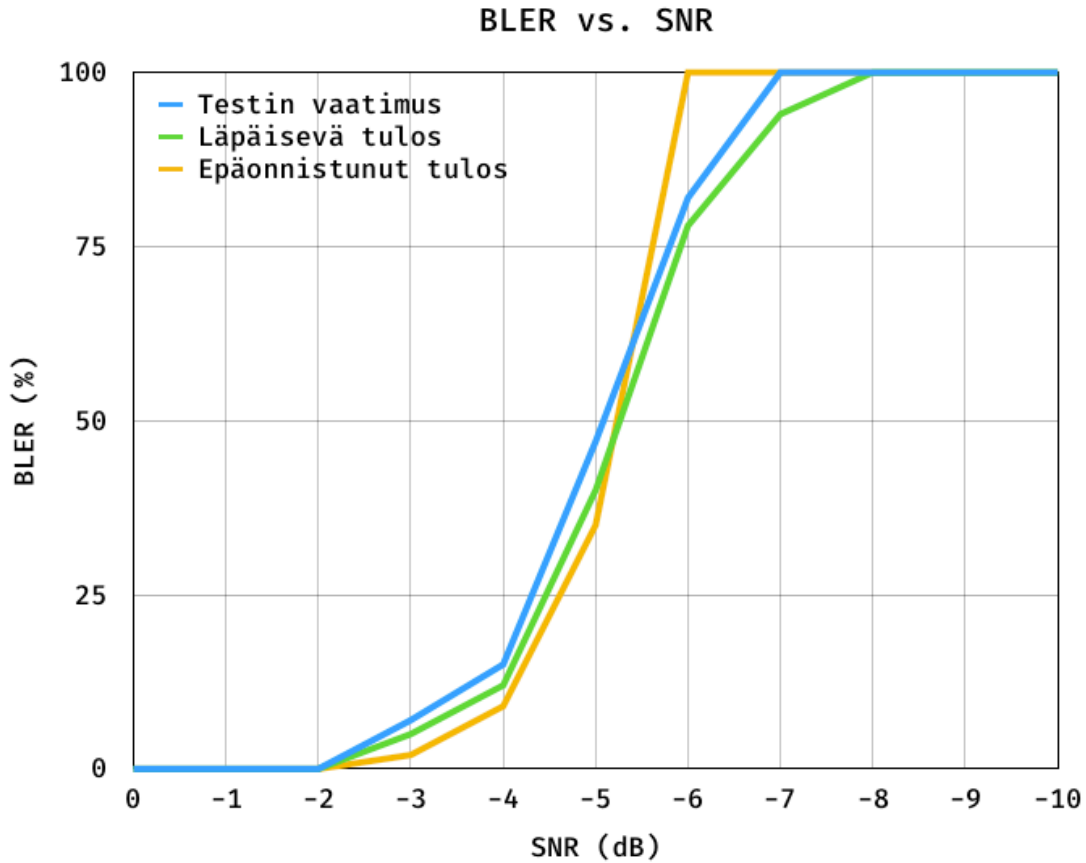
Työkalulla voi esimerkiksi määrittellä kuvion 10 mukaiset testit, jossa MCS-arvo muuttuu testien välillä, ja signaalikohinasuhde pienenee testivaiheiden välillä.



KUVIO 10. Kolme eri testiä kuvattuna

Kuvaajan pystyakseli kuvastaa mitattua BLER-arvoa, ja vaaka-akseli kuvastaa testivaiheiden välillä muuttuvaa signaalikohinasuhdetta. Toisin sanoen, testivaiheiden välillä solun lähetystasoa lasketaan tai kohinan tasoa nostetaan testilaitteessa, ja modeemille asetetaan pystyakselin mukainen BLER-arvo läpäisykriteeriksi.

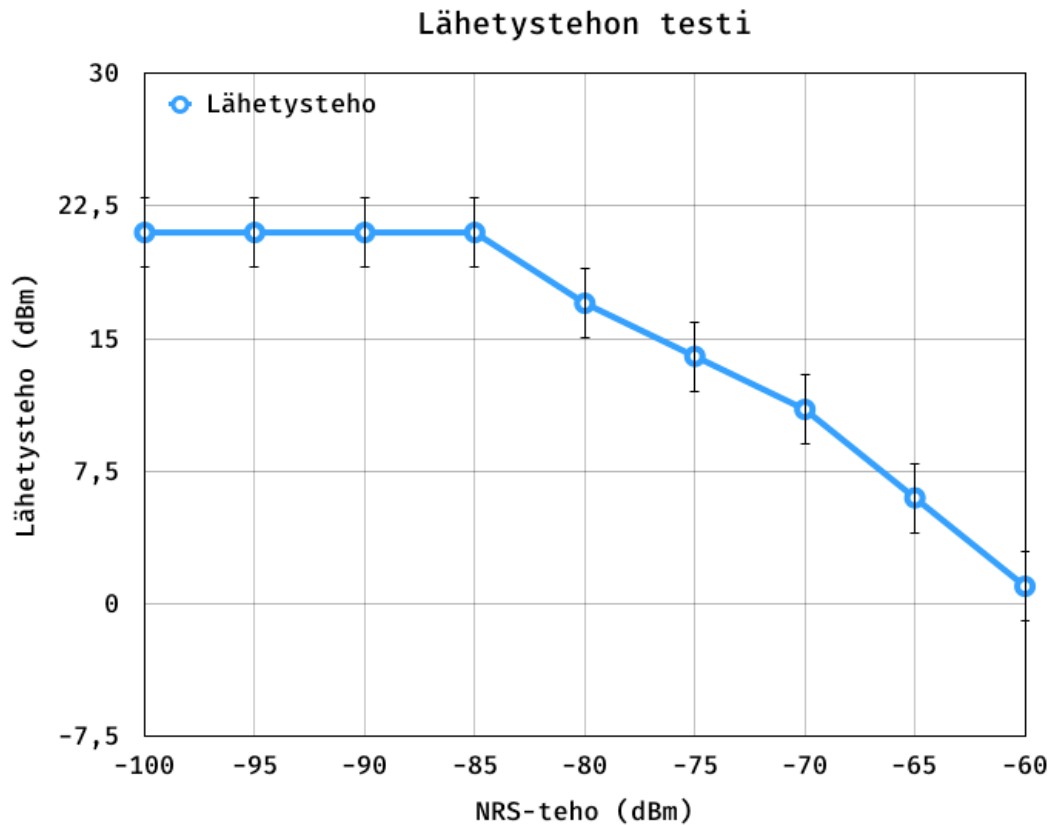
Kun edellä mainitun kuvaajan kaltaisia testejä ajetaan, testaustyökalu suorittaa vaaditut mittaukset laskentataulukossa määritellyn testifunktion kautta, ja lopullinen testin tulos kuvattuna saattaa näyttää esimerkiksi kuvion 11 mukaiselta.



KUVIO 11. Kuvattu esimerkki kahdesta testituloksesta

Kuvaajassa on ajettu aikaisemmin määritelty hypoteettinen MCS 0 -testi kahteen kertaan, joista toisella kerralla modeemi on läpäissyt kyseisen testin kaikki testivaiheet, ja toisella kertaa epäonnistunut -6 dB SNR kohdalla. Testin kaikki välivaiheet on läpäistävä testauskäyrän mukaisesti, jotta kyseinen testi tulkitaan onnistuneen.

Vastaavanlaisia testauskäyriä voidaan hyödyntää muidenkin mitattavien suureiden suhteen. Lähettimen ominaisuuksien testauksessa on esimerkiksi mahdollista määritellä virhemarginaaleilla varustettu läpäisykriteeri modeemin lähetysteholle (kuvio 12).

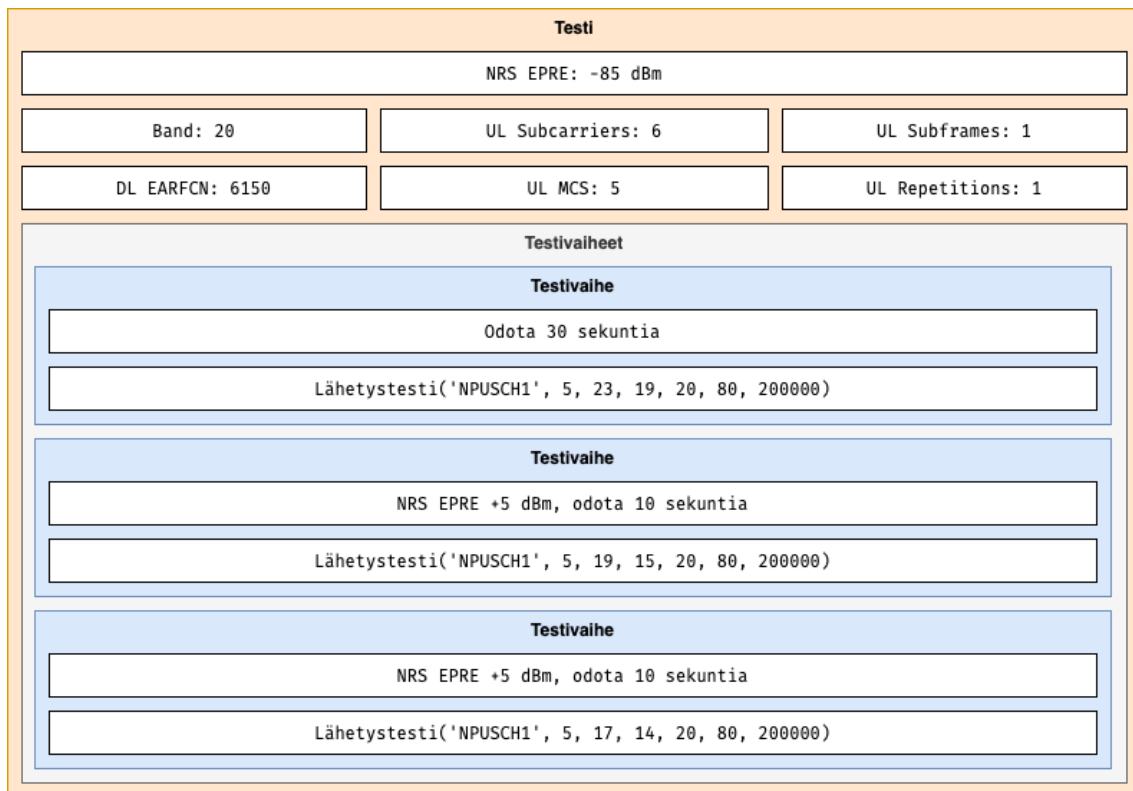


KUVIO 12. Lähetystehon testi virhemarginaaleilla

Kuvion 12 mukaisessa testissä NRS-tehoa lasketaan testin välivaiheissa, ja testivaiheen läpäisemiseksi lähetysteholle on asetettu ala- ja ylärajat. Toisin sanoen, lähetystehon on pysyttävä marginaalien sisällä. Varsinaisessa lähettimen testauksessa testataan muitakin suureita samanaikaisesti lähetystehon kanssa.

6.4 Esimerkkitestit

Testauskäyrien lisäksi, esimerkki nousevalle siirtotielle suunnatusta NPUSCH1-testistä voidaan esittää aikaisemmin esitellyn mallin avulla (kuvio 6). Kuviossa 13 esitellään miltä todellinen testi saattaa näyttää.



KUVIO 13. NPUSCH1-testin esimerkki

Kuvion 13 yläosassa on määritelty NB-IoT-soluparametreja, jotka asetetaan CMW500-testilaitteeseen testin alussa. Tämän jälkeen solu ja modeemi kytketään päälle ja siirrytään ensimmäiseen testivaiheeseen. Ensimmäisen testivaiheen esivaiheessa odotetaan 30 sekuntia, jotta modeemi ja solu saavat hiukan aikaa asettua aloilleen. Modeemi on myös esimääritelty liittymään soluun tämän odotusvaiheen aikana. Esivaiheen jälkeen siirrytään testivaiheeseen, jossa kutsutaan testifunktiota. Kuviossa esiintyvän lähetystestifunktion parametrit ovat läpäisykriteerejä (luku 6.2.2).

Testifunktio ajaa testifunktiolle ominaisen testin - tässä tapauksessa lähetystestin - ja tarkistaa lopuksi testin aikana mitatut tulokset. Mikäli tulokset ovat asetettujen raja-arvojen sisällä, testivaihe tulkitaan onnistuneen. Mikäli jokin mitattu tulos rikkoo asetettuja rajoja, testivaihe tulkitaan epäonnistuneen. Testivaiheen epäonnistuessa koko testi määritellään epäonnistuneen.

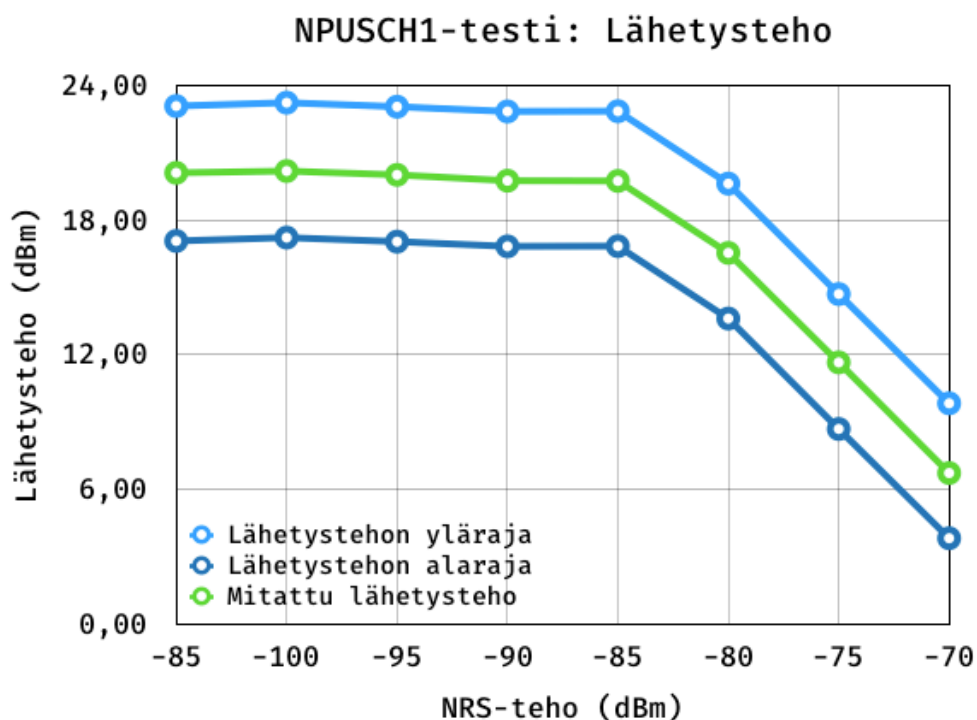
Kun ensimmäinen testivaihe on suoritettu, siirrytään seuraavaan testivaiheeseen, jossa solun NRS-lähetystehoa nostetaan 5 dBm. Lähetystehon noston avulla solua tuodaan ikäänkuin lähemmäksi modeemia, jolloin modeemin ei puolestaan tarvitse hyödyntää yhtä suurta lähetystehoa kuin aikaisemmin. Tällä tavalla voidaan testata mm. modeemin lähettimen tehonsäätöä. Seu-

raavassa testivaiheessa suoritetaan samat toimenpiteet kuin aikaisemmassa. Tämän vaiheen jälkeen kyseinen esimerkkitesti on päättynyt.

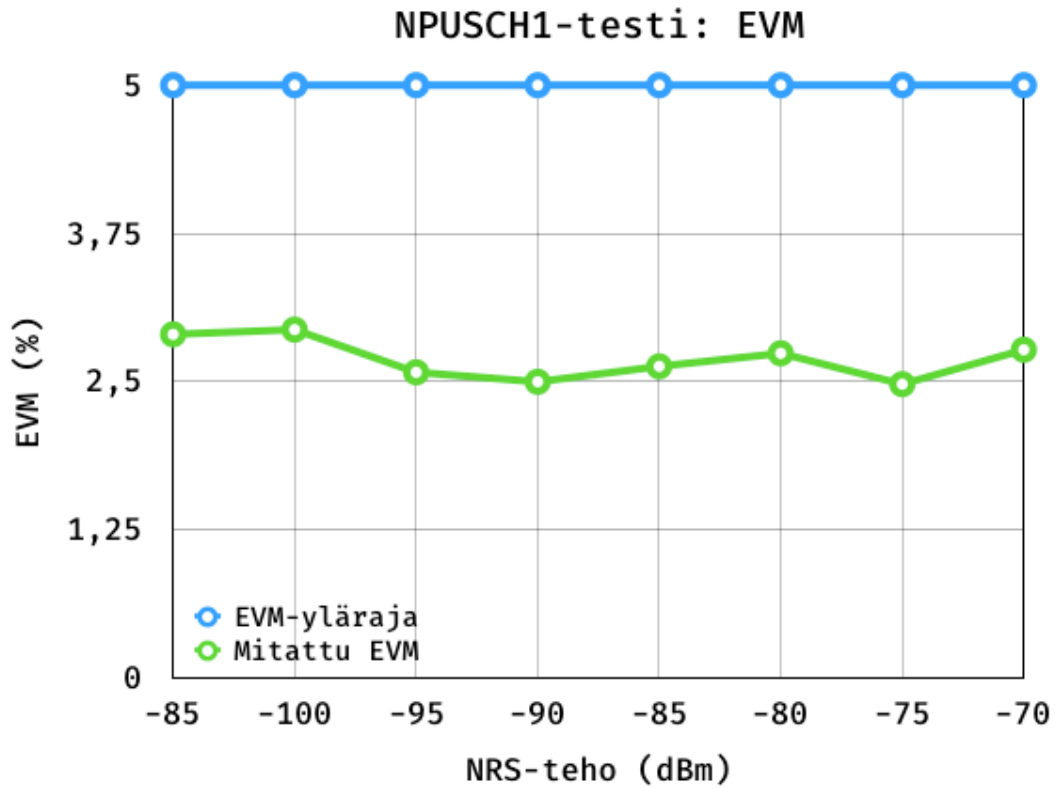
6.5 Testitulokset

Aikaisemmissa osioissa on annettu esimerkkejä siitä, kuinka testaustyökalua käytetään. Tässä osiossa esitellään muutama mittaustulos yhdestä suoritetusta NPUSCH1-testistä. Testattava modeemi on ALT1250. Testissä modeemi on asetettu toimimaan NB-IoT-verkossa.

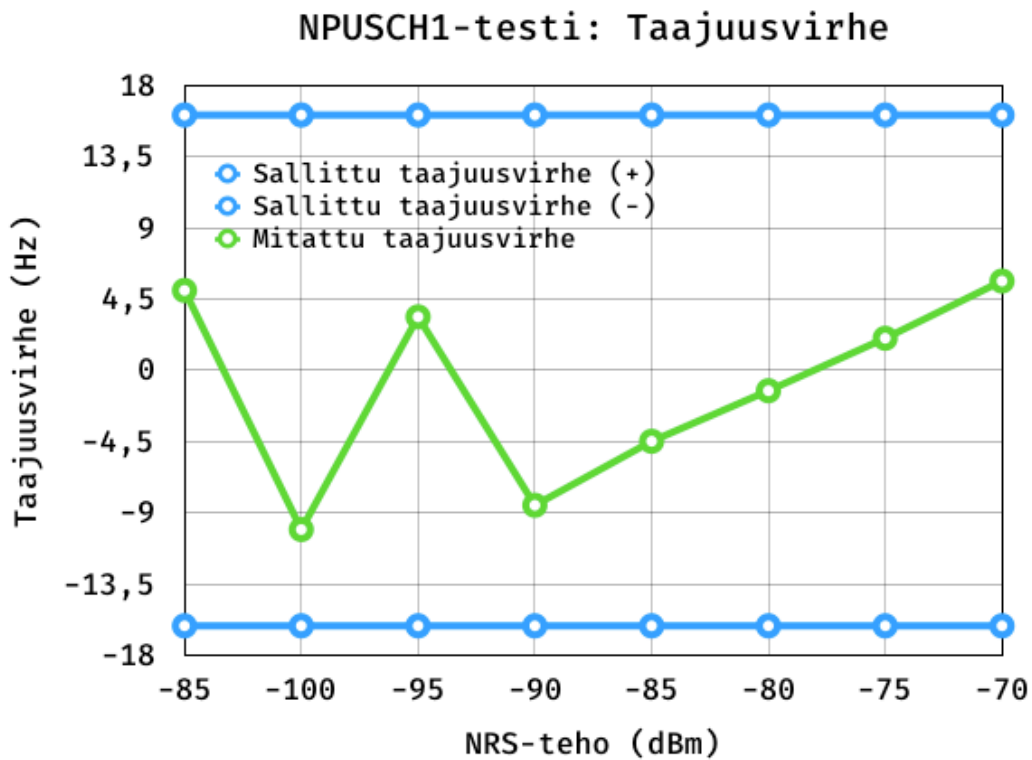
Kuvioissa 14, 15 ja 16 on esitelty testin raja-arvot sekä tulokset. Testissä modeemi on asetettu käyttämään keskitaajuutena taajuusalueen keskimmäistä taajuutta. Lähetysparametreiksi on määritelty pienimmän mahdollisen siirtolohkon lähetys 12 apukantoaaltoa hyväksi käyttäen. Testissä mitataan NPUSCH1-lähetyksiä testifunktion kautta. Testi testaa modeemin toimintaa eri NRS-tehoarvoilla. Testivaiheiden välissä NRS-arvoa muutetaan, aluksi -15 dBm alaspäin ja sitten 5 dBm ylöspäin jokaisessa testivaiheessa.



KUVIO 14. NPUSCH1-testi, lähetystehon rajat ja mitattu lähetysteho



KUVIO 15. NPUSCH1-testi, EVM-yläraja ja mitattu EVM



KUVIO 16. NPUSCH1-testi, sallittu taajuusvirhe ja mitattu taajuusvirhe

Kaikkia mitattavia suureita ei ole tässä esitelty, mutta kuvaajien mukaisesti kaikki mittaukset eri testivaiheissa ovat raja-arvojen sallimat, ja täten kyseinen testi luokitellaan onnistuneen. Kyseisen testin raja-arvot ovat paljon vaativammat kuin mitä 3GPP-spesifikaatio määrittelee.

Toisin kuin tässä opinnäytetyössä, varsinainen testaustyökalu ei piirrä kuvaajia tuloksista, vaan se piirtää taulukoita, jotka ovat ulkonäöltään samankaltaisia kuin CMW500-testilaitteessa (liite 1, liite 2). Kyseisiä taulukoita tulostetaan testifunktion päättyessä (kuvio 3). Testauksessa näitä taulukoita tulostetaan varsin paljon, riippuen testien ja testivaiheiden määrästä.

Toteutetulle testaustyökalulle määriteltiin tämän opinnäytetyön aikana 31 eri testiä, jotka testaavat modeemin eri ominaisuuksia.

7. POHDINTA

Alunperin tämän opinnäytetyön oli tarkoitus käydä läpi varsinaista testausta CMW500-testilaitteella testaustyökalun kehitystyön lisäksi, mutta koska NB-IoT-standardin mukainen verkkotekniikka on jo mahdottoman laaja aihe itsessään, päätin rajata tämän opinnäytetyön kehitettyyn testaustyökaluun.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Altair Semiconductorille NB-IoT-modeemin testaustyökalu CMW500-testilaitteelle. Tälle työkalulle oli sitten tarkoitus luoda testejä, joita kyetään ajamaan automaattisessa testausympäristössä.

Kaikki opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin. Työkalua on mahdollista käyttää yrityksen NB-IoT-modeemien testaukseen automaattisessa testausympäristössä. Työkalulle luotiin kaikkiaan 31 eri testiä opinnäytetyön aikana. Uusia testejä on tarkoitus lisätä vielä opinnäytetyön jälkeen.

Työn toteutuksessa keskityttiin maksimoimaan saadut tulokset rajallisessa aikataulussa. Ottaen huomioon työn laajuuden sekä itselle vielä haasteellisen NB-IoT-tekniikan koen, että toteutettu työkalu ja määritellyt testit ovat tuloksina erinomaiset noin kolmen kuukauden työpanokselle.

Opinnäytetyön haasteellisin vaihe oli testien määrittely ja integraatio. Testejä on mahdollista määrittellä väärin, jolloin testi antaa valheellisen kuvan virheellisestä modeemin toiminnasta. Testejä on myös mahdollista määrittellä liian lähelle haluttuja raja-arvoja tai muita parametreja, jolloin testi ei ole vakaa vaan epäonnistuu joillakin ajokerroilla. Testi voi myös olla täysin pätevä, mutta testilaitte ei tue kyseistä testiä, koska testilaitteessa itsessään on virhe. Kun työtä integroitiin automaattiseen testausympäristöön, siitä aiheutui ongelmia jotka ilmenivät testaustyökalun ohjelmistovirheenä. Todellisuudessa kyseessä oli Windows-asetusvirhe, joka sattui rikkomaan automaation. Tuon nämä ongelmatilanteet esiin, koska kehitystyössä on helppo sokaistua omaan ongelmakenttään, vaikka todellinen ongelma saattaa piillä jossakin muualla.

Tulevaisuudessa testaustyökalua voi laajentaa kehittämällä täyden tuen naapurisoluille. Tällä hetkellä työkalu mahdollistaa vain hyvin yksinkertaisten naapurisolutestien ajamisen. Työkalu ei

myöskään kata 100 % CMW500-testilaitteen tarjoamasta SCPI-rajapinnasta. Suosittelemme rajapinnan laajentamista, kun sille löytyy jonkin uuden testiryhmän vaatima tarve.

LÄHTEET

1. Liberg, Olof - Sundberg, Märten - Wang, Y.-P. Eric - Bergman, Johan - Sachs, Joachim 2018. Cellular Internet of Things. Technologies, Standards, and Performance. Amsterdam, Alankomaat: Elsevier.
2. Gallager, Robert G. 2008. Principles of Digital Communications. Cambridge, Iso-Britannia: Cambridge University Press.
3. Schlienz, J. - Raddino, D. 2016. Narrowband Internet of Things. Whitepaper. Saatavissa: https://www.rohde-schwarz.com/fi/applications/narrowband-internet-of-things-white-paper_230854-314242.html, linkki Narrowband Internet of Things | 1MA266. Hakupäivä 15.2.2020.
4. 3GPP 2020. About 3GPP. Saatavissa: <https://www.3gpp.org/about-3gpp>. Hakupäivä 17.2.2020.
5. Rohde & Schwarz 2019. R&S@CMW Wideband Radio Communication Tester. Platform Overview. Saatavissa: https://www.rohde-schwarz.com/gr/brochure-datasheet/cmw500_overview/. Hakupäivä 17.2.2020.
6. ETSI 2018. 3GPP TS 36.101 version 15.3.0. Sophia Antipolis, Ranska: ETSI. Saatavissa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/15.03.00_60/ts_136101v150300p.pdf. Hakupäivä 6.4.2020.
7. ETSI 2020. 3GPP TS 36.133 version 15.9.0. Sophia Antipolis, Ranska: ETSI. Saatavissa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136133/15.09.00_60/ts_136133v150900p.pdf. Hakupäivä 6.4.2020.
8. Wikipedia 2020. Cyclic redundancy check. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_redundancy_check. Hakupäivä 24.2.2020.
9. ETSI 2019. 3GPP TS 34.121-1 version 15.3.0. Sophia Antipolis, Ranska: ETSI. Saatavissa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/134100_134199/13412101/15.03.00_60/ts_13412101v150300p.pdf. Hakupäivä 6.4.2020.
10. Rohde & Schwarz 2019. R&S@CMW-KM300/-KS300 NB-IoT Firmware Applications. User Manual Version 07. München, Germany: Rohde & Schwarz.
11. SCPI Consortium 1999. Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI). Saatavissa: <https://www.ivifoundation.org/docs/scpi-99.pdf>. Hakupäivä 26.2.2020.

12. Sanastokeskus TSK. TEPA-termipankki. Saatavissa: <http://www.tsk.fi/tepa/fi/>. Hakupäivä 26.2.2020.
13. 3GPP 2020. Releases. Saatavissa: <https://www.3gpp.org/specifications/67-releases>. Hakupäivä 1.3.2020.
14. MathWorks. MATLAB. Saatavissa: https://www.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_ff_p_matlab. Hakupäivä 15.3.2020.
15. ETSI 2020. 3GPP TS 38.211 version 15.8.0. Sophia Antipolis, Ranska: ETSI. Saatavissa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138200_138299/138211/15.08.00_60/ts_138211v150800p.pdf. Hakupäivä 6.4.2020.
16. Altair Semiconductor 2020. ALT1250. Saatavissa: <https://altair-semi.com/products/alt1250/>. Hakupäivä 15.3.2020.
17. Telesystem Innovations 2010. LTE in a Nutshell. The Physical Layer. Markham, Ontario, Canada: Telesystem Innovations Inc.
18. Wikipedia. Client–server model. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Client%E2%80%93server_model. Hakupäivä 24.3.2020.
19. ETSI 2020. 3GPP TS 36.300 version 15.8.0. Sophia Antipolis, Ranska: ETSI. Saatavissa: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/15.08.00_60/ts_136300v150800p.pdf. Hakupäivä 6.4.2020.

BLER-TESTIFUNKTION TULOSTAULUKKO

LIITE 1

	Absolute	Relative
ACK	1000	100.00 %
NACK	0	000.00 %
BLER	1000	000.00 %
Throughput	08500.00 bit/s	100.00 %
DTX	0	000.00 %

Mod Results	Latest	Average	Extreme

EVM RMS	2.72 %	2.90 %	3.10 %
EVM Peak	9.90 %	11.06 %	11.82 %
Freq. Error	-0.46 Hz	5.05 Hz	-21.42 Hz
Timing Error	6.69 Ts	2.26 Ts	12.09 Ts
TX Power	20.12 dBm	20.09 dBm	20.05 dBm
SC Power	9.31 dBm	9.27 dBm	25.57 dBm

SEM Results	Latest	Average	Extreme (min)	Extreme (max)

OBW	192.19 kHz	192.19 kHz		192.19 kHz
TX Power	20.25 dBm	20.24 dBm	20.21 dBm	20.26 dBm
