

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Elektroniikan koulutusohjelma

Kauko Tiainen

**Simulointiympäristö langattomalle
ajoneuvon seuranta järjestelmälle**

Insinööritö 25.3.2009

Ohjaaja: testauspäällikkö Timo Ristimäki
Ohjaava opettaja: lehtori Janne Mäntyselki

Tekijä Otsikko	Kauko Tiainen Simulointiympäristö langattomalle ajoneuvonhallintajärjestelmälle
Sivumäärä Aika	53 sivua 25.3.2009
Koulutusohjelma	Elektroniikan koulutusohjelma
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	Testauspäällikkö Timo Ristimäki Lehtori Janne Mäntykoski
<p>Insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin simulointiympäristö langattomalle ajoneuvon seuranta järjestelmälle. Simulointiympäristöä tullaan käyttämään asiakkaan tilaamassa ajoneuvon seuranta järjestelmän seurantalaitteen testauksessa. Näiden testien tarkoitus on mitata laitteen toiminnallisuutta ja suorituskykyä. Aikaisempia soveltuvia testejä ei laitteelle ollut olemassa, joten suunnittelu aloitettiin aivan alusta.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli rakentaa simulointiympäristö, jolla voidaan ohjelmoida ja toteuttaa testejä SL1-laitteelle. Ympäristön tarkoituksena oli SL1-ajoneuvon seuranta järjestelmän testaus ja laitteen suorituskyvyn mittaaminen erilaisissa laitteen käyttöympäristössä esiintyvissä tilanteissa. Muina tavoitteina työssä oli tehdä simulointiympäristöstä dynaaminen ja helppokäyttöinen, jolloin uusien testien luominen olisi vaivatonta ja olemassa olevia testejä voitaisiin käyttää niihin viittaamalla. Tämä vähentää testien suunnittelu aikaa huomattavasti ja mahdollistaa testien ketjuttamisen.</p> <p>Työ suoritettiin yrityksen laboratoriossa olevilla testilaitteilla ja tietokoneella, johon oli asennettu National Instrumentsin valmistama LabVIEW 7.1 -ohjelma. Osa testilaitteista oli normaalissa käytössä ja osa liitettiin simulointiympäristöön. Ympäristö koostui seuraavista laitteista: GSM-simulaattori, ohjattava teholähde, GPS-simulaattori, ohjattava yleismittari, tietokone, palvelin ja akkusimulaattori/laturi. Laitteet liitettiin yhteen tietokoneeseen GPIB-liitännällä lukuun ottamatta GPS-simulaattoria, jonka liitännässä käytettiin RJ-45-kaapelia. LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä toteutetun ohjelman tarkoituksena oli laitteiden käskyttäminen ja testitilanteiden toteuttaminen.</p> <p>Määritellyt tavoitteet saavutettiin, ja simulointiympäristö tullaan ottamaan käyttöön käytettävyyys- ja toimintavarmuustestien jälkeen. Meneillään olevien testien tarkoitus on varmistaa, että simulointiympäristö toimii vakaasti ja tuottaa luotettavia testituloksia. Ympäristöä tullaan parantelemaan, jotta sitä voidaan käyttää myös yrityksen muihin tuotteisiin, edellyttäen että testattava laite tukee AT-komentoja.</p>	
Hakusanat	simulointi, simulointiympäristö, ajoneuvon seuranta, GSM, GPS, LabVIEW

Author Title	Kauko Tiainen Simulation environment for a wireless vehicle tracking system
Number of Pages Date	53 25 March 2009
Degree Programme	Electronics Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Timo Ristimäki, Test Manager Janne Mäntykoski, Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to design and construct a simulation environment for a wireless vehicle tracking system. The simulation environment will be used to test the SL1 vehicle tracking system in different situations that simulate the behaviour of product in the actual working environment. There were no previous test applications for SL1 so the project started by designing a structure for testing application.</p> <p>The objective of the project was to design and build a simulation environment for the vehicle tracking system which could be used to run pre-programmed testing scenarios or to build new scenarios. The purpose of these scenarios was to measure the performance of SL1 in various situations. The other objectives were to design an easy and dynamic interface in which the user can create new testing scenarios or to invoke pre-programmed scenarios. By using pre-programmed scenarios, which can be linked chronologically, the overall testing time decreases and removes the need to manually change test once its completion.</p> <p>The simulation environment was built in the company laboratory using available testing equipment and computers which include, but are not limited to, a GPS-simulator, digital power supply, GSM-simulator, digital multimeter, server, battery charger/simulator and a computer. The machines were connected using GPIB-bus except the GPS-simulator, which was connected using an Ethernet connector. The LabVIEW software of National Instruments was used to design a code which enabled centralized control of equipment. The testing equipment was controlled by sending commands with the program generated with the LabVIEW software.</p> <p>The objectives were met and the simulation environment will be taken into use after initial stability tests are completed. These tests are to ensure that testing scenarios produce solid and credible test results. Future revision contains possibilities to extend the use of simulation environment to other company products, provided that they support AT commands.</p>	
Keywords	simulation, simulation environment, vehicle tracking, GSM, GPS, LabVIEW

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto	7
1.1	Insinööriyön aiheen määrittely	7
1.2	Toimeksiantajan esittely	8
1.3	Työympäristö	8
2	Ajoneuvon seuranta laite	9
3	GNSS	10
3.1	Navigointijärjestelmät	10
3.2	GPS:n historia	10
3.3	GPS-järjestelmän rakenne	11
3.4	Paikannustieto	12
3.5	Signaalin rakenne	13
3.6	NMEA-protokolla	14
4	GSM-tekniikka	17
4.1	Historia	17
4.2	GSM-verkon rakenne	17
5	Simulointiympäristön esittely	20
5.1	Käyttötarkoitus	20
5.2	Liitännät	21
5.3	Simulointiympäristön laitteet	22
5.3.1	<i>GSM-simulaattori</i>	23
5.3.2	<i>GPS-simulaattori</i>	25
5.3.3	<i>Ohjattava teholähde</i>	27
5.3.4	<i>Ohjattava yleismittari</i>	27
5.3.5	<i>Akkusimulaattori</i>	28
5.4	LabVIEW-ohjelman rakenne	28
6	Simulointiympäristön suunnittelu	32
6.1	Ominaisuudet ja toimintaperiaate	32
6.2	Virtual Instrumentin rakenne	34
6.3	Simuloinnin tarkkuus	41
6.4	Vastoinkäymiset simulointiympäristön kanssa	41
7	Parannusehdotuksia simulointiympäristöön	43
8	Loppupäätelmät	45

Lähteet	46
Liitteet	48
Liite 1: Mini-Circuits -tehosummain ZAPD-21	48
Liite 2: GSM-simulaattori Anritsu MT8820A	49
Liite 3: GPS-simulaattori Spirent STR-4500	50
Liite 4: Agilent E3646A -teholähde	51
Liite 5: Agilent 34401A -yleismittari	52
Liite 6: Keithley 2306 -akkusimulaattori/laturi	53

Lyhenteet

SL1	Seurantalaite.
SLA	Simulointiympäristö langattomalle ajoneuvonseurantajärjestelmälle.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Globaali satelliittipaikannusjärjestelmä.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusvoimien kehittämä ja rahoittama satelliittipaikannusjärjestelmä.
GPRS	General Packet Radio Service. Pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu.
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, Venäjän satelliittipaikannusjärjestelmä.
Compass	Kiinan satelliittipaikannusjärjestelmä.
C/A	Coarse/Acquisition. Siviilikäyttöön tarkoitettu navigointikoodi.
PRN	Pseudo Random Number. Näennäissatunnainen numero, joka on identtinen jokaisella navigointisatelliitilla.
P(Y)-code	Precision code. Tarkka paikannuskoodi, joka on tarkoitettu USA:n armeijan käyttöön.
UTC	Coordinated Universal Time. Universaali aikajärjestelmä, johon lisätään karkaussekunteja kompensoimaan maapallon hidastuva pyöriminen. Pohjautuu TAI-aikajärjestelmään.
TAI	International Atomic Time. Atomikelloihin perustuva aikajärjestelmä.
LABVIEW	National Instrumentsin kehittämä graafiseen G-ohjelmointikieleen perustuva ohjelmointiympäristö.
SNR	Signal To Noise. Signaalin teho suhteena signaalia häiritsevään tehoon.
VI	Virtual Instrument. LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä tehty ohjelma tai aliohjelma.

1 Johdanto

1.1 *Insinöörityön aiheen määrittely*

Insinöörityössä suunniteltiin ja rakennettiin simulointiympäristö langattomalle ajoneuvon seurantatyjärjestelmälle. Laitetta käytetään asiakkaan langattomassa ajoneuvon seurantatyjärjestelmässä. Ympäristön tarkoituksena on testata SL1-ajoneuvon seurantatyjärjestelmän toimintaa erilaisissa tilanteissa, jotka ovat ennalta määritelttyjä. Aikaisempia testisovelluksia ei ollut saatavilla, eikä viittauksia vastaavaan simulointiympäristöön myöskään löytynyt, mikä loi tarpeen insinöörityön aiheelle. Simulointiympäristöstä haluttiin laaja ja dynaaminen ympäristö, jossa voidaan helposti luoda tilanteita testattavalle laitteelle. Tilanteiden tarkoitus on mitata laitteen suorituskykyä ja tallentaa testitulokset analysointia varten, minkä jälkeen niistä luodaan raportti. Simulointiympäristö koostuu useista testilaitteista, joista osa on jatkuvassa käytössä yrityksen laboratoriotiloissa. Laitteista muodostettiin simulointiympäristö liittämällä ne toisiinsa GPIB-väylällä. Ainoa laite, jota ei voitu liittää kyseisellä väylällä, oli palvelin, joka ohjaa GPS-simulaattorin toimintaa. Liitäntä mahdollistettiin RJ-45-kaapelilla, jonka käyttö on hyvin yleinen lähiverkoissa. Laitteiden keskitetty ohjaus tapahtui National Instrumentin LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä luodulla ohjelmalla. Ohjelman tarkoitus on synkronoidusti lähettää käskyjä mittalaitteille ja tallentaa testattavan laitteen toiminta erilaisissa tilanteissa, jotka ohjelmoidaan LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä. Suurin osa insinöörityöstä kului ohjelman tekemiseen, toimintojen testaukseen ja jatkokehittelyyn. Työn vaatimus oli luoda helppokäyttöinen ohjelma, jossa voidaan ohjelmoida testitapahtumia testattavalle laitteelle. Lopullisissa testeissä, jotka koostuvat tapahtumista, voidaan käyttää jokaisen testilaitteen ominaisuuksia ja linkittää erilaisia testejä toisiinsa kronologisesti.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Yritys valmistaa GNSS (Global Navigation Satellite Systems)-vastaanottimia ja suunnittelee ohjelmia, jotka on tarkoitettu tarkkaan satelliittinavigaatioon. Yritys on perustettu vuonna 1999 ja työllistää vuoden 2009 alussa yli 30 henkilöä.

Tuotevalikoimaan kuuluu GNSS-moduuleita, jotka voidaan integroida asiakkaiden omiin järjestelmiin kuten GPS-navigaattoreihin, matkapuhelimiin, älypuhelimiin ja viihde-elektroniikkaan. Yritys suunnittelee myös kehityssovelluksia, joilla asiakas voi ohjelmoida GNSS-moduuleita omien spesifikaatioiden mukaan. Yhteistyökumppaneita yrityksellä on yli 30 maassa.

1.3 Työympäristö

Simulointiympäristö langattomalle ajoneuvon seurantajärjestelmälle (SLA) rakennetaan yrityksen laboratorioon. Näissä tiloissa suoritetaan myös tuotteiden testausta, tuotekehittelyä ja testausprosessien parantelua. Ympäristö mahdollistaa uusien testien suunnittelemisen ja testauksen jo olemassa olevilla testialustoilla, joita käytetään normaaliin tuotetestaukseen. Tiloissa toimivalla juotosasemalla voidaan suorittaa piirilevyjen korjauksia ja komponenttien vaihtamista kuten myös testialustojen valmistamista.

2 Ajoneuvon seurantalaitte

Simulointiympäristön tarkoitus on luoda työkalu, jolla voidaan suorittaa erilaisia testejä SL1-ajoneuvon seurantalaitteelle. Järjestelmä eroaa yrityksen jo olemassa olevista testeistä siten, että testattava laite ei ole yksittäinen moduuli vaan kokonainen järjestelmä. Tämä tuo haasteita simulointiympäristön toiminnallisuuteen, jotta sillä voidaan testata laitteen ominaisuudet mahdollisimman kattavasti.

Ajoneuvon seurantajärjestelmän perusominaisuus on seurata ajoneuvoa, johon se on kiinnitetty. Seuranta tapahtuu GNSS-järjestelmän avulla, joka tässä insinööriyössä on GPS-järjestelmä. Laitteet, jotka seuraavat ajoneuvon liikumista GPS-tekniikan avulla, eivät ole uutta teknologiaa, vaan samanlainen järjestelmä on esimerkiksi LoJack-yhtiön valmistama Lojack Stolen Vehicle Recovery System [1], jota käytetään varastetun auton jäljittämiseen. Trackyou-yrityksellä on myös tuotteita [2], joita käytetään ajoneuvojen jäljittämiseen. Vaikka ajoneuvon seurantalaitteita löytyy jo markkinoilta, viittauksia simulointiympäristöön, jolla testataan kyseisiä laitteita, ei löytynyt.

Simulointiympäristön käyttötarkoituksena on luoda erilaisia testejä, joilla saadaan tietoa SL1-ajoneuvon seurantajärjestelmän toiminnasta erilaisissa tilanteissa. Järjestelmällä voidaan seurata ajoneuvoa, johon on liitetty seuranta mahdollistava SL1-laite ja langattomia antureita. Laite kerää kyseisiltä antureilta tietoa tietyin aikavälein ja kokoaa ne raportiksi, joka lähetetään GPRS-modeemin kautta asiakkaan palvelimelle. Palvelimelta voidaan siten seurata, mitä ajoneuvossa on tapahtunut ja missä. Raporteissa olevaa informaatiota voidaan hyödyntää monella tavalla, kuten vertaamalla palvelimella olevia tietoja esimerkiksi ajomääräyslistaan ja päätellä, onko ajoneuvo varastettu vai luvallisessa käytössä. Tekniikkaa, johon SL1 laite pohjautuu, käydään läpi seuraavissa luvussa.

3 GNSS

3.1 Navigointijärjestelmät

GNSS on yleisnimike satelliittinavigointijärjestelmälle, joka tarjoaa paikannustiedon ympäri maapalloa. Tällä hetkellä (15.2.2009) ainoa täysin toimiva GNSS-järjestelmä on GPS, joka on Yhdysvaltain puolustusvoimien kehittämä. Muita järjestelmiä on rakenteilla, muun muassa Euroopan Galileo, jonka suunnitellaan valmistuvan vuonna 2012, Kiinan Compass ja Venäjän GLONASS [3]. Kiinan Compass-järjestelmä on ottanut ensimmäisiä askeleita 14. huhtikuuta 2007, jolloin viimeisin satelliitti (Beidou-2A) lähetettiin kiertoradalle [4]. Compass-järjestelmä tulee koostumaan viidestä geostationäärisestä satelliitista ja 30:stä MEO-vyöhykkeellä toimivasta satelliitista. Venäjän GLONASS-järjestelmä oli toiminnassa vuodesta 1991 vuoteen 2002, minkä aikana järjestelmä rappeutui, eivätkä jäljellä olevat 8 satelliittia kyenneet suorittamaan maapallon kattavaa seuranta. Venäjä on lähiaikoina kiihdyttänyt navigointisatelliittien laukaisuja kiertoradalle, jotta järjestelmä saataisiin käyttökuntoon [5]. Insinööriyössä keskitytään GPS-navigointijärjestelmään ja sen rakenteeseen SL1-laitteen ominaisuuksien vuoksi.

3.2 GPS:n historia

GPS on lyhenne sanoista Global Positioning System, joka tarkoittaa globaalia paikannusjärjestelmää. Järjestelmän kehittäminen alkoi vuonna 1957 Sputnik satelliitin lähettämisen jälkeen, kun John Hopkins University of Applied Physicsissa George Weiffenbach ja William Guier tutkivat Sputnik-satelliitin lähettämien radiosignaalien doppler-ilmiötä [6]. Ilmiö aiheutti Sputnik-satelliitin lähettämien radiosignaalien taajuuden olevan korkeammalla, kun satelliitin lentorata lähestyi tarkkailupistettä kohden, ja matalammalla satelliitin loitontuessa tarkkailupisteestä. Ilmiön tutkiminen johti NAVSTAR-navigointijärjestelmään (tunnetaan paremmin nimellä GPS), jonka tarkoitus oli luoda sotilas- ja siviilikäyttöön tarkka, reaaliaikainen ja yksisuuntainen paikannusmenetelmä. Järjestelmä aloitti alustavan operatiivisen toimintakyvyn (IOC)

joulukuussa 1993, jolloin 24 navigointisatelliittia olivat toimintakunnossa [7].
Satelliittikonstellaatio koostui Block I ja BLOCK II/IIA-malleista, joista Block I oli vanhempaa mallia. NAVSTAR saavutti täydellisen operatiivisen toimintakyvyn 1995, jolloin Block I-satelliitit oli korvattu Block II/IIA-mallilla. 15. maaliskuuta 2008 konstellaatio sai viimeisimmän lisäyksen Block IIR-satelliitista, jolloin kokonaisluku nousi 32 satelliittiin [8].

3.3 GPS-järjestelmän rakenne

GPS-Järjestelmä perustuu kolmeen osa-alueeseen: navigointisatelliitteihin, kontrolliyksiköihin ja GPS-paikantimien käyttäjiin. Navigointisatelliitit toimivat 20 200 km korkeudella maan pinnasta [9] MEO (Medium Earth Orbit) -vyöhykkeellä, jossa tällä hetkellä toimii 32 GPS-navigointisatelliittia. Kontrolliyksiköt koostuvat maan pinnalla olevista tarkkailuasemista, jotka tarkkailevat satelliittien lentoratoja ja synkronoivat niiden sisäisiä atomikelloja. Tarkkailuasemat ovat USA:n ilmavoimien alaisuudessa ja sijaitsevat Hawajissa, Kwalajeinissa, Ascension saarella, Diego Garciasissa ja Colorado Springsissä. Koska satelliitteja täytyy seurata tarkasti, mittausasemien sijainnit on valittu sen mukaisesti ympäri maapalloa. Jokainen tarkkailuasema lähettää satelliittien lentoradoista tiedot Colorado Springsissä sijaitsevaan Schrieverin ilmavoimien tukikohtaan, jossa tiedot analysoidaan ja muokataan päivityspaketeiksi. Nämä lähetetään säännöllisesti jokaiselle satelliitille, jotka sen vastaanottaessaan suorittavat tarvittaessa lentoratansa korjauksia. Mikäli satelliitin lentoradassa on vikaa, satelliitin lähettämä paikannusdata jätetään huomioimatta. Kun satelliitin lentorata on korjattu, se merkitään käyttökelpoiseksi ja satelliitin lähettämää signaalia voidaan jälleen käyttää normaalisti. Käyttäjäsegmentillä tarkoitetaan niitä GPS-vastaanottimia, jotka kykenevät vastaanottamaan navigointisatelliittien lähettämää signaalia ja prosessoimaan sen NMEA-standardin mukaiseksi informaatioksi. GPS-paikantimet voidaan jakaa kahteen ryhmään, niihin, jotka tulkitsevat siviilikäyttöön tarkoitettua C/A-koodia, ja niihin, jotka kykenevät tulkitsemaan C/A- ja P-koodia.

3.4 Paikannustieto

GPS-paikantimen toiminta perustuu yksinkertaistettuna sen kykyyn laskea satelliittien sijainti ja aikaero satelliitilta lähteneeseen signaaliin ja siihen aikaan, kun paikannin vastaanottaa kyseisen signaalin. Toisin sanoen paikannin lukee signaalista aikatiedon ja laskee sen pohjalta, kuinka kauan navigointisatelliitilta lähteneeltä signaalilta kesti saavuttaa GPS-paikannin. GPS-paikannukseen tarvitaan kolmen satelliitin lähettämän signaalin tulkittamisen, jotta voidaan saada karkea kolmiulotteinen paikkatieto. Koska signaali kulkee valon nopeutta c , pienikin virhe vastaanottimen kellossa voi aiheuttaa massiivisen virheen paikkatiedossa. Tätä varten tarvitaan neljännen satelliitin signaali, jolla korjataan paikantimen kellovirhe. Alla olevalla kaavalla 1 voidaan laskea vastaanottimen etäisyys satelliitista.

$$(T_v - T_l) * c = d \quad (1)$$

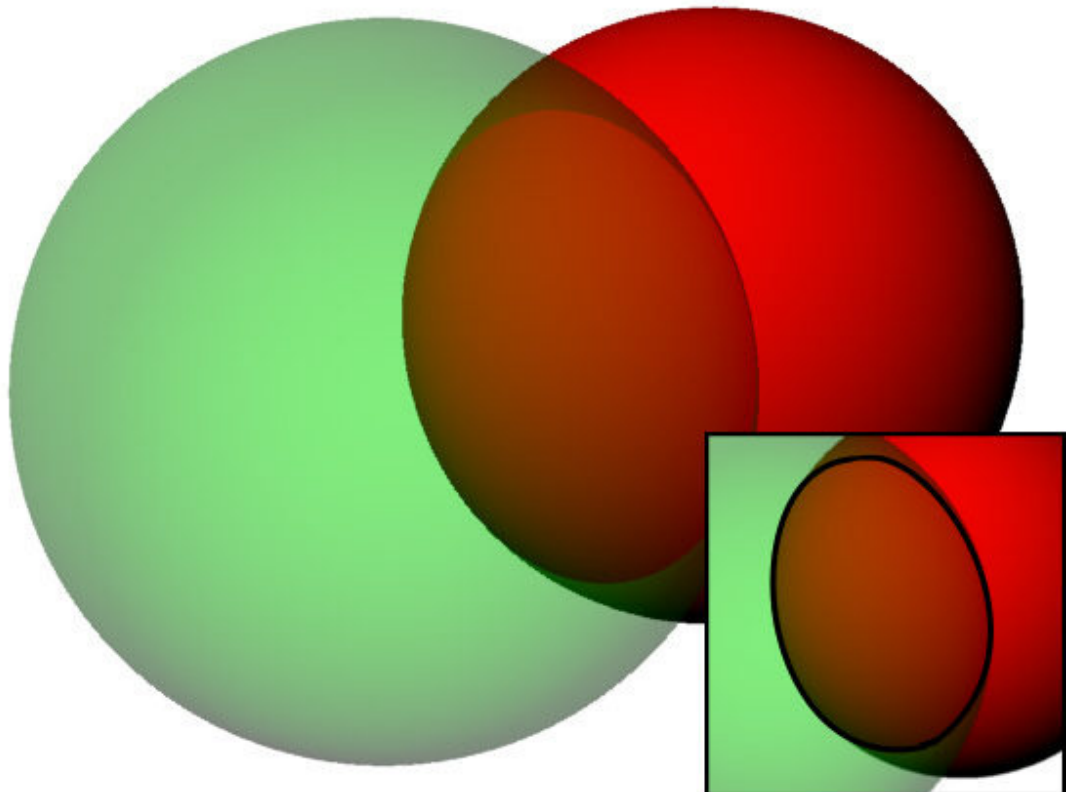
T_v on aika jolloin GPS-paikannin vastaanottaa paikkatiedon.

T_l on aika jolloin navigointisatelliitti on lähettänyt paikkatiedon.

c on valon nopeus joka on $299\,792\,458 \frac{m}{s}$.

d on vastaanottimen etäisyys satelliittiin.

Koska d ei ole vektoriarvo, vastaanotin ei voi tietää, missä suunnassa navigointisatelliitti sijaitsee, jolloin etäisyyttä käsitellään säteenä yhteen pisteeseen pallon pinnalla. Yhden satelliitin lähettämästä signaalista saadaan luotua pallo, ja paikkatieto saadaan laskettua monen satelliitin lähettämästä signaalista seuraavalla tavalla. Signaaleista lasketaan vastaanottimen etäisyys satelliittiin, ja niiden pohjalta luotujen pallojen pinnoista lasketaan GPS-vastaanottimen sijainti. Kuva 1 selvittää paikkatiedon laskemista.



Kuva 1. Etäisyys GPS-vastaanottimesta navigointisatelliitille on esitetty pallona, jonka säde on edellä mainittu etäisyys [10].

Kuvassa 1 nähdään etäisyys navigointisatelliiteille esitettyinä pallona. GPS-paikantimen sijainti lasketaan monen pallon pinnan leikkauskohdan muodostaman alueen avulla. Tarkka sijainti saadaan ottamalla keskiarvo alueen keskipisteestä. Mitä useamman navigointisatelliitin signaalia vastaanotin tulkitsee, sitä tarkempi paikannustieto saadaan, mutta varsinainen paikkatieto saadaan maksimissaan neljältä satelliitilta. Vastaanotin valitsee ne satelliitit, jotka antavat sillä hetkellä tarkinta paikkatietoa. Tarkkuudella on kuitenkin rajansa, varsinkin siviilikäyttöön tarkoitettussa C/A-koodissa.

3.5 Signaalin rakenne

Navigointisatelliitit lähettävät signaalia kahdella taajuudella, joista ensimmäisen taajuus on moduloitu bipolaarisella vaihekulmalla (BPSK) taajuudelle 1575.42 MHz ja sen tunnus on L1. Toisen signaalin, L2, taajuus on 1227,6 MHz. Koska kaikki GPS-

satelliitit käyttävät samoja taajuuksia, kantaaltoihiin moduloitujen sanomien sisältävät yksilöllisen tunnisteen, jotta vastaanottimet tunnistaisivat eri satelliittien lähettämät sanomat [11]. Satelliittien sanomat moduloitetaan CDMA (Code division Multiple Access) -tekniikalla, jossa lyhyt sanoma moduloitetaan pitkään näennäissatunnaiseen numerosarjaan (PRN), joka on yksilöllinen jokaiselle satelliitille. CDMA-moduloitu sanoma voidaan vastaanottimessa purkaa ja tunnistaa, miltä satelliitilta sanoma on alunperin tullut vertailemalla muistissa olevia PRN-numerosarjoja vastaanotettuun viestiin. L1-kantaalto sisältää P(Y)-koodin, C/A-koodin ja M-koodin. L2-taajuus sisältää näiden kolmen koodin lisäksi uuden L2C-koodin. C/A-koodi sisältää satelliitin oman PRN-numerosarjan ja tarkan ajan, jonka avulla voidaan määrittää GPS-vastaanottimen sijainti karkeasti. P-koodi on tarkoitettu sotilaskäyttöön, ja se toistuu L1- ja L2-taajuuksilla kerran viikossa sanoman pituuden vuoksi, joka on $6.1871 * 10^{12}$ bittiä, ja sitä lähetetään 10.23 Mbittiä/s [12]. P-koodin pituuden vuoksi vastaanotin lukittuu C/A-koodiin ja vasta tämän jälkeen synkronoituu P-koodiin. Jokainen satelliitti lähettää vain osan P-koodista, joka on $2.35 * 10^{14}$ bittiä pitkä [11]. Luvaton P-koodin käyttö GPS-paikannuksessa on estetty moduloimalla P-koodi W-koodilla. Moduloitusta W-koodista saadaan Y-koodi, joka on signaali, jota nimitetään P(Y)-koodiksi. L2C-koodi on modernisoitujen satelliittien tuoma uusi ominaisuus, jonka tarkoituksena on parantaa siviileille tarkoitettua GPS-paikannusta.

3.6 NMEA-protokolla

NMEA-0183 on National Marine Electronics Associationin määrittelemä protokolla, jota GPS-vastaanottimet käyttävät tulkitsemaan GPS-satelliittien lähettämää tietoa. Protokollassa kaikki merkit ovat ASCII-merkkisiä, ja se koostuu lauseista, joiden tunnisteenä käytetään dollarimerkkiä (\$) [13]. Lauseen tunniste koostuu ensin kahdesta kirjaimesta, joilla tunnistetaan, mihin käyttöön lause on tarkoitettu. Esimerkiksi lause GPGGA on tarkoitettu GPS-vastaanottimille. Seuraavat kolme kirjainta määrittelevät lauseen sisällön. Jokainen lause loppuu rivinalkuunpalautusmerkkiin, joka helpottaa ohjelmia tunnistamaan lauseen lopun. Lauseissa oleva tieto

sisältää UTC-ajan, vastaanottimen latitudin ja longitudin, nopeuden solmuissa, lähetetyn tiedon tarkistusosan, montako satelliittia on käytössä ja paljon muuta. Yksi näistä lauseista on \$GPGGA, johon perehdytään tarkemmin.

GPGGA-lause koostuu ASCII-sanomista, jotka erotellaan toisistaan pilkulla. Tämän takia jokaisessa lauseessa on saman verran pilkkuja, jolloin joissakin lauseissa on tyhjiä kohtia, jotka näkyvät peräkkäisinä pilkkuina. Lauseen ensimmäinen sanoma on UTC-aika, jota jokaisen satelliitin sisäinen rubidium- tai cesium-atomikello laskee [7]. Atomikellon käyttö ajan laskemiseksi on tärkeää paikannustiedon vuoksi, koska etäisyys satelliitista lasketaan valon nopeuden ja ajan avulla. Mikäli ajassa on mikrosekunnin heitto, se voi kasvattaa etäisyyttä satelliittiin huomattavasti, kuten kaavassa 1 todetaan. Seuraavina sanomina ovat latitudi, sen suunta (pohjoinen vai etelä), longitudi, sen suunta, GPS-seurannan laatu, montako satelliittia on seurannassa, horisontaalinen paikan epätarkkuus, meren pinnan keskiarvo, korkeus meren pinnasta verrattuna maan geoidiseen muotoon ja lopuksi tarkistusdata, jolla tarkistetaan sanoman oikeellisuus. Meren keskiarvoinen korkeus saadaan vertaamalla paikallista maanpintaa, jota käytetään referenssinä monen vuoden aikana. Geoidi on maapallon muoto mikäli maailman merien pinnat olisivat samalla korkeudella. Seuraava GPGSA-lause sisältää lyhennetyn tiedon jokaiselta satelliitilta, kuten paikannuksen laatu, jokaisen satelliitin PRN-numeron (yhteensä 12, esimerkissä näytetään 9 satelliitin jokaisen 2-numeroinen tunniste), paikannuksen tarkkuuslukemat ja lopuksi tarkistussumma. GPGSA-sanoman jälkeen lähetetään jokaisen satelliitin oma tarkka GPGSV-sanoma, joka sisältää satelliitin lähettämän tarkan sanoman. Esimerkki NMEA-protokollasta nähdään taulukosta 1.

Taulukko 1. Esimerkki NMEA-protokollasta, josta saadaan luettua vastaanottimen paikannustieto, UTC-aika, näkyvissä olevat satelliitit ja PRN-numerot.

\$GPGGA,080145.79,6016.3225,N,02458.3255,E,1,09,1.6,31.2,M,18.2,M,,*52
\$PFST,FOM,3*66
\$GPGSA,A,3,03,06,15,16,18,19,21,22,27,,,,,2.0,1.6,1.2*35
\$GPGSV,3,1,11,03,63,220,53,06,61,190,52,08,12,326,00,15,18,032,43*72
\$GPGSV,3,2,11,16,06,202,36,18,56,086,51,19,51,286,50,21,24,092,43*70
\$GPGSV,3,3,11,22,62,155,52,26,12,017,39,27,12,013,38*4F
\$GPRMC,080146.79,A,6016.3225,N,02458.3255,E,0.00,13.3,060309,6.1,E,A*37

Taulukossa 1 näkyvät lauseet on eroteltu riveille. Ensimmäisellä rivillä näkyvä \$GPGGA-sanoma sisältää simulointiympäristölle käyttökelpoista tietoa, kuten paikkatiedon ja tarkan UTC-ajan, jota käytetään Virtual Instrument-ohjelmassa synkronoimaan laitteille lähtevät komennot. \$PFST-lause ei kuulu standardoituun NMEA-protokollaan. Muita lauseita ei käytetä, sillä ne eivät sisällä merkityksellistä tietoa simulointiympäristöä varten. NMEA sallii laitevalmistajien muodostaa omia lauseita, jotka merkitään alkukirjaimella P, ja seuraavat kolme kirjainta ovat lyhenne yrityksen nimestä. Esimerkiksi \$PFST muodostuu alkutunnisteesta P, ja FST on lyhenne laitevalmistajan nimestä.

4 GSM-tekniikka

4.1 Historia

GSM-tekniikka (Global System for Mobile Communications) lähti liikkeelle vuonna 1982, kun CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) loi Groupe Spécial Mobile (GSM)-standardia mobiilille telekommunikaatiojärjestelmälle, jota voitaisiin käyttää ympäri Eurooppaa [14]. Vuonna 1987 13 maata allekirjoitti yhteisymmärryssopimuksen ”Memorandum of Understanding on the Implementation of a Pan-European 900MHz Digital Cellular Mobile Telecommunications Service by 1991”, jossa jokainen järjestelmään liittynyt operaattori veloitettiin tekemään sopimus verkkovierailusta muiden järjestelmään liittyneiden operaattoreiden kanssa. Näin ollen voitiin varmistaa, että standardi on sama kaikilla operaattoreilla ja, että roaming ominaisuus toimisi ympäri Eurooppaa. Vuonna 1989 järjestelmän standardointi siirrettiin ETSI:lle (European Telecommunication Standards Institutionille).

4.2 GSM-verkon rakenne

GSM-tekniikka voidaan jakaa erilaisiin järjestelmiin, kuten NSS (network and switching subsystem), joka on keskusjärjestelmä, tukiasemajärjestelmä BSS (base station subsystem) ja näitä kahta ohjaavaan OSS (operations sub-system)-hallintajärjestelmään [15]. Näiden lisäksi GSM-verkoissa on monta muuta osa-aluetta, muun muassa laskutusjärjestelmä, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä. Kun matkapuhelimen kautta tehdään soitto, se kulkeutuu BSS:n kautta MSC:hen (mobile services switching centre). BSS on järjestelmä, joka toimii rajapintana matkapuhelimen ja NSS:n välissä. MSC tietää, missä solussa eli minkä BSS:n vaikutusalueella vastaanottaja on, tarkistamalla VLR (Visitor Location Register) tietokannasta vastaanottajan LAI:n. VLR-tietokantaan tallennetaan kaikki ne MS:t, jotka ovat MSC:n vaikutuksessa. MS koostuu matkapuhelimesta ja SIM-kortista.

Jotta GSM-verkkoon voidaan liittyä, siitä pitää tietää tunniste, jolla osoitetaan, mihin verkkoon halutaan liittyä. GSM-verkko tunnustetaan MCC-, MNC- ja LAC-koodien perusteella, jotka ovat yksilöllisiä. MCC on lyhenne sanoista "Mobile Country Code", ja tällä koodilla tunnustetaan maa, jossa GSM-verkko sijaitsee. MNC tulee sanoista "Mobile Network Code", joka on yksilöllinen jokaiselle maalle, ja LAC tulee sanoista Location Area Code, joka on solun tunniste GSM-verkossa. Maiden MCC-koodit standardoitiin ITU-T:ssä (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union) vuonna 1998 [16]. LAC-koodia tarvitaan, jotta tulevat puhelut voidaan yhdistää oikeaan liittymään. Nämä kolme koodia muodostavat LAI:n (Location Area Identity), jonka avulla seurataan liittymää gsm-verkossa. Tiedot liittymän sijainnista tallennetaan tietokantaan (mm. Visitor Location Register), jota käytetään yhdistettäessä puheluita oikeaan liittymään. Jotta voidaan tietää, mihin verkkoon SL1-laite on yhdistynyt, laitteelle täytyy lähettää komentoja, joilla saadaan selville tiedot näkyvistä GSM-verkoista tai tietystä verkosta.

SL1-laitetta voidaan ohjata lähettämällä siihen AT-komentoja. Nämä Attention-komennot ovat osa Hayes-komentosarjaa, joka on alunperin kehitelty Hayesin Smartmodem 300 -baudimodeemille vuonna 1977. AT-komentoja käytettiin alunperin vaihtamaan modeemi kahteen eri tilaan, joko lähettämään dataa toiselle modeemille tai ottamaan itse komentoja vastaan, joilla voitiin ohjelmoida modeemia. Tätä ennen modeemi oli niin sanotusti tyhjä pääte, jonka ainoa toiminta oli siirtää sille annettu data eteenpäin. Komennot, jotka pohjautuvat Hayes-komentosarjaan, ovat käytössä nykypäivänä, esimerkiksi matkapuhelinvalmistajat Nokia [17] ja Sony Ericsson [18] käyttävät AT-komentoja. Huomioitavaa näissä komennoissa on se, että komentolista on jokaiselle laitteelle erilainen. SL1-laitteen Siemensin GSM-modeemille voidaan käyttää esimerkiksi komentoa `At+cops=?`. Tällä komennolla saadaan GSM-modeemi skannaamaan kuuluvat GSM-verkot läpi ja lähettämään niiden MCC- ja MNC-koodit. Seuraavassa tekstipätkässä on modeemille lähetetty AT-komento ja sen lähettämä vastaus.

at+cops=?

-

+COPS: (1,"FI SONERA",,"24491"),(3,"FL elisa",,"24405"),(1,"FINNET or FI 2G",,"24412"),,(0-4),(0,2)

OK

Yllä olevassa esimerkissä ensin lähetettiin AT-komento, johon SL1-laitteessa oleva Siemensin GSM-modeemi vastasi. Vastauksessa olevien sulkujen sisällä on tietyn GSM-verkon tiedot, eli Elisan verkon tiedot ovat keskimmäisessä suluissa. Vastauksessa oleva numero 3 tarkoittaa verkon hylkivän SL1-laitetta, jolloin laite ei kykene yhdistämään verkkoon täysin, mutta mahdollistaa esimerkiksi hätäpuheluiden tekemisen. Seuraava tieto pilkun jälkeen on verkon string-muotoinen tunnus, jonka jälkeen tulee kaksi pilkkua ja viimeiseksi MNC- ja MCC-koodit peräkkäin. Vertailemalla vastauksessa olevaa MCC-koodia 244 säädökseen Annex to ITU Operational Bulletin No. 897 – 1.XII.2007, voidaan todeta MCC koodin olevan oikea. MNC-koodi löytyy Annex to ITU Operational Bulletin No. 901 – 1.II.2008 säädöksestä, jossa mainitaan Elisa matkapuhelinpalveluiden MNC-koodiksi 05. [19; 20]

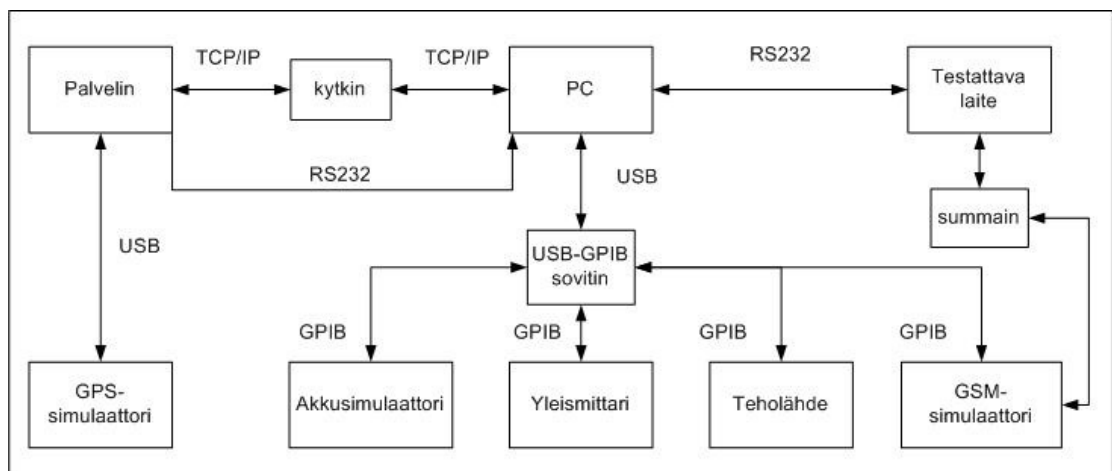
5 Simulointiympäristön esittely

5.1 Käyttötarkoitus

Simulointiympäristöllä tarkoitetaan sellaista kontrolloitua ympäristöä, jossa voidaan simuloida laitteen toimintaa ja käyttöympäristön vaikutuksia siihen. Työssä rakennetussa simulointiympäristössä ei ole laitetta, jolla voidaan jäljitellä esimerkiksi lämpötilojen vaihtelua, mutta tämä ominaisuus on mahdollista lisätä käyttämällä yrityksen tiloissa olevaa lämpökaappia. Ympäristön käyttötarkoitus on luoda kattava työkalu, jolla voidaan suunnitella helposti erilaisia testejä SL1-laitteelle. Testejä tulee voida linkittää dynaamisesti siten, että tietty testisekvenssi voidaan suorittaa useasti peräkkäin tai voidaan testata monia erilaisia testejä pitkällä aikavälillä. Testien tulee olla valmiiksi määriteltyjä, jolloin käyttäjä voi kutsua tiettyä testiä haluttuun aikaan. Testeistä tulevat tulokset tallentuvat laitekohtaisesti tekstitiedostoihin, joista voidaan kerätä haluttu tieto raporttiin. Ennen testin aloittamista laitteet, joita tarvitaan tietyssä testissä, tarkistetaan siltä varalta, että jokin laite on joko suljettu tai ei vastaa komentoihin. Mikäli näin tapahtuu, annetaan siitä virheilmoitus käyttäjälle, ja testi keskeytyy. SLA:ssa käytettävät laitteet ovat jo valmiiksi yrityksen laboratoriossa, joten järjestelmän rakentaminen oli helppoa, ainoa mitä piti löytää, olivat oikeat liitännät. Simulointiympäristö koostuu seuraavista laitteista: GPS- ja GSM-simulaattorit, ohjattava tehrolähde, ohjattava yleismittari, akkusimulaattori, palvelin, joka ohjaa GPS-simulaattoria (käytännössä normaali PC), ja tietokone, jossa LabVIEW-ohjelmointiympäristöllä suunnitellut Virtual Instruments ohjelmat toimivat. Nämä laitteet mahdollistavat erilaisten tilanteiden simuloimisen testattavalle laitteelle, ja samalla voidaan mitata laitteen toimintaa kyseisissä tilanteissa.

5.2 Liitännät

Simulointiympäristön laitteet ovat liitetty toisiinsa erilaisilla liitännöillä. GPS-simulaattori on kytketty sitä ohjaavaan palvelimeen (PC) USB-kaapelilla, ja palvelin on kytketty RJ-45-verkkojohdolla kytkimeen. Tietokone, jossa laitteita ohjaava Virtual Instrument-ohjelma toimii, on myös liitetty kytkimeen. Testattava laite (SL1) on kytketty sarjakaapelilla tietokoneeseen, jonka kautta testattavalle laitteelle syötetään komentoja ja mitataan laitteen toimintaa. Muut laitteet, kuten GSM-simulaattori, teholähde, yleismittari ja akkusimulaattori on kytketty GPIB-liitännällä toisiinsa ja PC:hen GPIB-USB-adapterin kautta. Kyseinen liitäntä ei tarvitse erillistä kytkintä tai reititintä, vaan liittimet voidaan liittää toisiinsa kerroksittain, jolloin eri laitteisiin kytketyt GPIB-liitännät muodostavat oman väylän, jossa informaatio kulkee. Simulointiympäristössä käytettävien laitteiden liitäntäverkosto on esitettyä kuvassa 2.



Kuva 2. Simulointiympäristön liitännät.

Kuvasta 2 nähdään SLA:n rakenne ja tietokoneen toiminta simulointiympäristön keskuksena. Kuvasta nähdään, myös miten laitteet ovat liitettyinä toisiinsa sekä miten ne voivat olla yhteydessä toisiinsa. Edellä mainittuihin liitäntöihin päädyttiin, koska työympäristössä oli valmiit resurssit toteuttamaan kuvan 2 mukainen simulointiympäristö. SLA:n rakentaminen suoritettiin käytännössä yhdistämällä laboratorioissa olevat laitteet yhdeksi kokonaisuudeksi, jossa jokaisen laitteen

toimintoja voidaan käyttää keskitetysti yhdeltä tietokoneelta. Koska testattavassa laitteessa on vain yksi antenniliitäntä ja GSM-simulaattorissa on kaksi ulostuloa, käytetään summaina yhdistämään nämä kaksi ulostuloa, jotta kumpaakin simuloitua GSM-verkkoa voidaan käyttää testeissä. Komponentiksi valittiin Mini-Circuitsin ZAPD-21 tehosummain, (liite 1) jonka tehohäviö on noin 3 dB taajuudella 900 MHz. Laitteen taajuuskaista ulottuu 500 MHz:sta 2 GHz:iin, joten komponentti soveltuu hyvin yhdistämään kaksi simuloitua GSM-verkon signaalia. Kytettäessä SL1-laitetta tehosummaimeen ja sitä kautta GSM-simulaattoriin ilmeni ongelma. Liitännässä käytetty kaapeli toimi itsessään antennina, jolloin laitteen GSM-modeemi sai yhteyden yleiseen GSM-verkkoon, ohittaen simulaattorilta tulevat signaalit. Tästä seurasi ilmiö, että laite sai yhteyden Elisan GSM-verkkoon, vaikka laitteen sisäinen antenni oli kytketty irti. Ongelmaa ei helpottanut se, että Elisan tukiasema on sijoitettu yrityksen rakennuksen katolle ja simulointiympäristö on kaksi kerrosta alempana. Ongelmaa pyrittiin ratkaisemaan alumiinifoliolla vuoratulla salkulla, johon laite sijoitettaisiin, mutta tämä ratkaisu ei toiminut. Foliosalkku vaimensi signaalin tasoa vain noin 10 dBm. Tulevaisuudessa ongelma korjataan joko sijoittamalla testattava laite EMC-eristettyyn laatikkoon tai käyttämällä suojattua antennikaapelia.

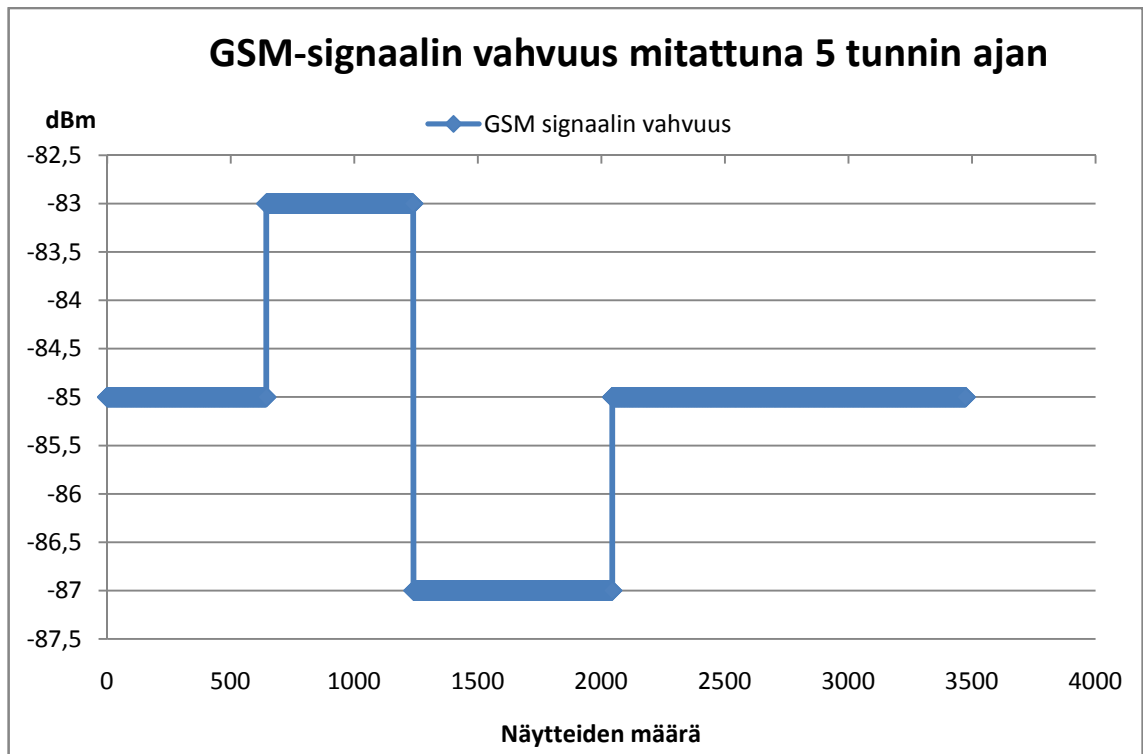
5.3 Simulointiympäristön laitteet

SLA:han voidaan liittää uusia testilaitteita tarpeen mukaan, jolloin järjestelmää voidaan kehittää helposti uusien testien myötä. Ainoa edellytys testilaitteilla on se, että niiden täytyy olla liitettävissä GPIB-väylällä. Mikäli käytettäisiin jotain muuta liitäntää, ohjelmaan täytyisi lisätä laiteajurit, jotta liitettäville laitteille kyettäisiin lähettämään käskyjä. Kuten edellä on mainittu, työssä käytettäviä laitteita voidaan käyttää modulaarisesti riippuen testien vaatimuksista. Näin ollen jokaisessa testissä ei tarvita kaikkia laitteita. Simulointiympäristössä rakennetussa testissä laitteille lähetetyt komennot määrittelevät, käytetäänkö tiettyä laitetta vai ei. Jos sammutetulle laitteelle lähetetään komento jossain vaiheessa testiä, jotkin ajastetut komennot voivat jäädä lähettämättä testilaitteille, mikä vaikuttaa testin lopputulokseen. Tämä mahdollinen

tilanne on otettu huomioon VI:n suunnittelussa, ja ohjelman alussa tarkistetaan kaikki siinä käytettävät komennot ja laitteet. Koska simulointiympäristön toiminnot ja suoritettavien testien rakenne riippuu siihen liitetyistä testilaitteista, näiden laitteiden toiminnot käydään läpi seuraavaksi.

5.3.1 GSM-simulaattori

GSM-simulaattorilla Anritsu MT8820A voidaan simuloida kahta toisistaan riippumatonta GSM-verkkoa, joiden vahvuudet ovat minimissään -140 dBm ja maksimissaan -10 dBm. Taajuuskaista on 30 MHz:stä 2.7 GHz:iin, jonka väliin mahtuvat kaikki nykyiset GSM-verkkojen taajuudet. Näiden rajojen sisällä voidaan simuloida yleisessä käytössä olevaa GSM-verkkoa, kuten esimerkiksi Elisan ylläpitämää verkkoa. Jotta simulaattorilla voidaan luoda verkko, jolla on oikean verkon ominaisuudet, täytyy ensin mitata olemassa olevaa GSM-verkkoa, jota käytetään referenssinä simulaattorille. Referenssinä on käytetty edellä mainittua Elisan GSM-verkkoa. Mittaus suoritettiin sisätiloissa yrityksen laboratoriossa viiden tunnin ajan. Mittauksen jälkeen tuloksista otettiin keskiarvo ja keskihajonta ja piirrettiin kuvio 1. Tukiasema, jonka lähettämää signaalia mitataan, sijaitsee kolmikerroksisen rakennuksen katolla. Mittaus suoritettiin rakennuksen toisessa kerroksessa.



Kuvio 1. Elisa GSM-verkon vahvuus mitattuna 5 tunnin aikana. Näytteitä otettiin 5 sekunnin välein.

Kuviosta 1 voidaan havaitaan, että yhteys Elisan GSM-verkkoon vaihteli vain vähän koko testin suorittamisen ajan. GSM-signaalin vahvuus mitattiin lähettämällä SL1-laitteelle kysely signaalin vahvuudesta 5 sekunnin välein 5 tunnin ajan. 645 mittauksen jälkeen huomataan, kuinka signaalin taso paranee -83 dBm:iin. Taso pysyy tässä arvossa noin 600 mittauskerran ajan, jonka jälkeen taso laskee -87 dBm:iin. Testin lopussa signaali pysyy tasaisena. Ottamalla mittaustuloksista keskiarvo tulokseksi saatiin -85.1209 dBm. Hajontaluvuksi saatiin 1.264048. Tuloksista voidaan tehdä oletamus, että yleinen GSM-verkon vahvuus on noin -85 dBm ja tätä arvoa tullaan käyttämään myöhemmissä simulaatioissa lähtötasona GSM-verkon herkkyytestauksessa. Testissä mitataan myös se GSM-verkon signaalin alin voimakkuus, jossa SL1-laite kykenee pitämään yhteyden. Testi tullaan rakentamaan siten, että signaalin voimakkuutta alennetaan tietyin aikavälein, kunnes laite menettää yhteyden verkkoon. Kun laite ei enää kykene muodostamaan yhteyttä GSM-verkkoon,

sen taso mitataan ja merkitään herkkyytasoksi. Lähteestä [21] löytyy tarkempaa tietoa laitteen ominaisuuksista, ja liitteessä 2 on kuva laitteesta.

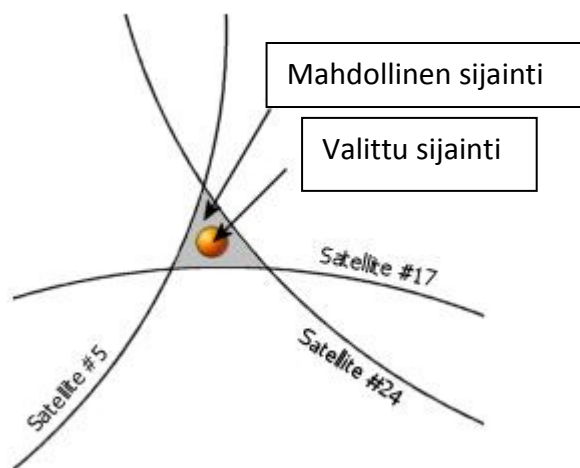
5.3.2 GPS-simulaattori

GPS-simulaattorilla Spirent STR-4500 testataan laitteen sijaintia, nopeutta, kiihtyvyyttä ja kykyä lukea heikkoa GPS-signaalia ja tulkita siitä paikkatieto. Koska SL1-laitteen käyttötarkoitus on kiinnittää se ajoneuvoon, voidaan todeta laitteesta saatavien tietojen olevan suoraan rinnastettavissa ajoneuvoon niiden tietojen osalta, joita saadaan GPS-simulaattorin syötteiden avulla. Näitä tietoja ovat esimerkiksi ajoneuvon koordinaatit, ajoneuvon nopeus, montako navigointisatelliittia käytetään paikannuksessa ja minkälaista reittiä ajoneuvo ajaa. Simulaattori syöttää yhdestä ulostulosta signaalia, joka vastaa taajuudeltaan GPS-satelliittijärjestelmän L1:tä ja sisällöltään C/A-koodia.

Laitteen ohjaus tapahtuu tietokoneella, jota kutsutaan tässä työssä myös palvelimeksi, johon on asennettu Simplex-ohjelma. Ohjelman tarkoitus on ohjata GPS-simulaattorin toimintaa. Kyseisen tietokoneen sarjaportista saadaan luettua simuloitua GPS-signaalia, joka on purettu valmiiksi NMEA-protokollan muotoon. Tätä signaalia käytetään VI:ssä yhtenä sisääntuloporttina, josta luetaan \$GPGGA-lauseessa olevaa UTC-aikaa. Simulaatiota rakentaessa voidaan päättää, mihin aikaan se alkaa ja mihin aikaan se loppuu. Näin ollen voidaan testi mitoittaa saman pituiseksi kuin simulaatio. SL1-laitteen GPS-moduuli vastaanottaa simulaattorilta tietoa antennin välityksellä, jolloin suoraa kytkentää kaapelilla ei käytetä.

Simulaatio voidaan rakentaa halutun testin mukaiseksi, jolloin voidaan testata esimerkiksi laitteen paikannuksen tarkkuutta (Dilution Of Precision). DOP tuottaa luvun skaalalla 1-50, jossa 1 on tarkin arvo. DOP tarkoittaa laitteen paikkatiedon tarkkuutta, joka vaihtelee seurattavien satelliittien etäisyydestä toisiinsa. Kun satelliitit ovat kaukana toisistaan, DOP-luku on pienimmillään, eli tarkkuus on parhaimmillaan, koska

tällöin aste-ero on suurimmillaan satelliittien välillä, ja näin ollen saadaan tehtyä tarkempi kolmiomittaus. Mikäli seurattavat satelliitit ovat lähellä toisiaan, paikannus kolmiomittauksella on vaikeampaa koska seurattavien satelliittien etäisyydestä muodostuvien pallojen (ks. kohta 3.4) reunat muodostavat isomman alueen, jossa GPS-vastaanotin voi olla.



Kuva 3. Dilution of precision, GPS-vastaanottimen tarkkuus havainnollistettuna kuvalla, jossa vastaanotin valitsee paikkatiedon harmaalta alueelta [22].

Kuvasta 3 voidaan havaita GPS-vastaanottimen laskemien navigointisatelliittien etäisyys ja niistä muodostuvien pallojen pintojen muodostama pinta-ala. Koska vastaanottimen laskema etäisyys yhteen satelliittiin voi olla mihin suuntaan tahansa, navigaattori tulkitsee navigointisatelliitin olevan missä tahansa. Paikannus vaatii vähintään 3 satelliittia sijainnin laskemiseen ja tämän lisäksi neljännen satelliitin, jota käytetään satelliiteilta saapuneiden viestien aikaeron laskemisessa. Mitä enemmän navigointisatelliitteja vastaanotin näkee, sitä tarkemmaksi paikannustieto tulee, koska tällöin GPS-vastaanotin käyttää "parhaimpia" signaaleja paikannustiedon määrittelyssä. Luvun 3.6 taulukosta 1 nähdään \$GPGSV-lauseesta SL1-laitteen seuraavan 11:tä satelliittia mittauksen aikana. Satelliittien määrä on kolmas muuttuja pilkun jälkeen. Samasta lauseesta nähdään tarkempia satelliitin tietoja kuten PRN-numero, SNR ja korkeussuhde.

Laitteessa käytettävät simulaatiot luodaan erillisellä simulaattorilla, jolla voidaan luoda erilaisia tilanteita ajoneuvon, lentokoneen tai laivan liikkumisesta, nopeudesta ja GPS-signaalin tasosta. Työssä käytettävä simulaattori toistaa nämä ennalta luodut tilanteet palvelimen antamien käskyjen mukaisesti. Lähteestä [23] löytyy lisätietoa laitteen ominaisuuksista, ja liitteessä 3 on kuva laitteesta.

5.3.3 Ohjattava teholähde

Ohjattava teholähde Agilent E3646A simuloi testattavan laitteen tehonkulutusta. SL1-laitte on suunniteltu siten, että ajoneuvon ollessa käynnissä laite ottaa virransyötön ajoneuvon akusta. Muussa tapauksessa laite kytkeytyy virransäästötilaan, jossa se lähettää tietyin aikavälein raportin tilastaan asiakkaan palvelimelle. Mikäli ajoneuvo on käynnissä, laite lähettää tilaraportteja useammin. Teholähde simuloi ajoneuvon käyttöä ja raportin lähettämistä normaalissa tilassa ja virransäästötilassa.

Virransyötöllä voidaan simuloida, miten laite reagoi virtapiikkeihin, jännitevaihteluihin ja muihin tehonsyöttöön liittyviin tapahtumiin. Laitteen tarkkuus on jännitesyötöllä $\pm(0.05\% + 10\text{mV})$ jännitearvosta ja virransyötöllä $\pm(0.2\% + 10\text{mA})$. Lähteestä [24] löytyy lisäinformaatiota laitteesta, ja laite on kuvattuna liitteessä 4.

5.3.4 Ohjattava yleismittari

Ohjattava yleismittari Agilent 34401A vastaa kaikesta virran, jännitteen ja taajuuden mittaamisesta. Laitteen mittaustarkkuus on määritelty seuraavien parametrien pohjalta, mittausaika, lämpötila ja lämpötilavaihtelu. Laitteen käyttöohjeessa listataan esimerkiksi 10 VDC jännitteelle, jota mitataan 24 tunnin ajan, seuraavat virherajat: $\pm 0.0015\%$ mittauksesta ja $\pm 0.0004\%$ mittauksen skaalasta. SL1-laitteen jännitteen syöttö akusta on 12 VDC, kun ajoneuvo, johon laite on liitetty, ei ole käynnissä. Ajoneuvon ollessa käynnissä jännitteen taso on 24 VDC. Virhe mitattaessa esimerkiksi

SL1-laitteen akun jännitettä on $12 \text{ VDC} \cdot 0.0015 = 18 \text{ mV}$ ja mittauksen laajuudesta tuleva virhe $12\text{-}24 \text{ VDC} \cdot 0.0004 = 4.8 \text{ mV}$. Nämä mittausvirheet ovat hyväksyttäviä, ottaen huomioon laitteen käyttötarkoituksen. Näistä mittauksista saadaan informaatiota esimerkiksi laitteen virrankulutuksesta erilaisissa tilanteissa. Laitteen parametreja voidaan säätää ulkoisesti, jolloin yhteen testiin voidaan sisällyttää monia erilaisia mittauksia. Mittaustulokset voidaan joko suoraan lukea laitteesta tai säilyttää laitteen muistissa. Tuloksien pohjalta voidaan tehdä taulukko ja laskea mittaustuloksista esimerkiksi keskiarvo tai keskihajonta. Lähteessä [25] on tarkempaa tietoa laitteen toiminnoista ja liitteessä 5 on kuva laitteesta.

5.3.5 Akkusimulaattori

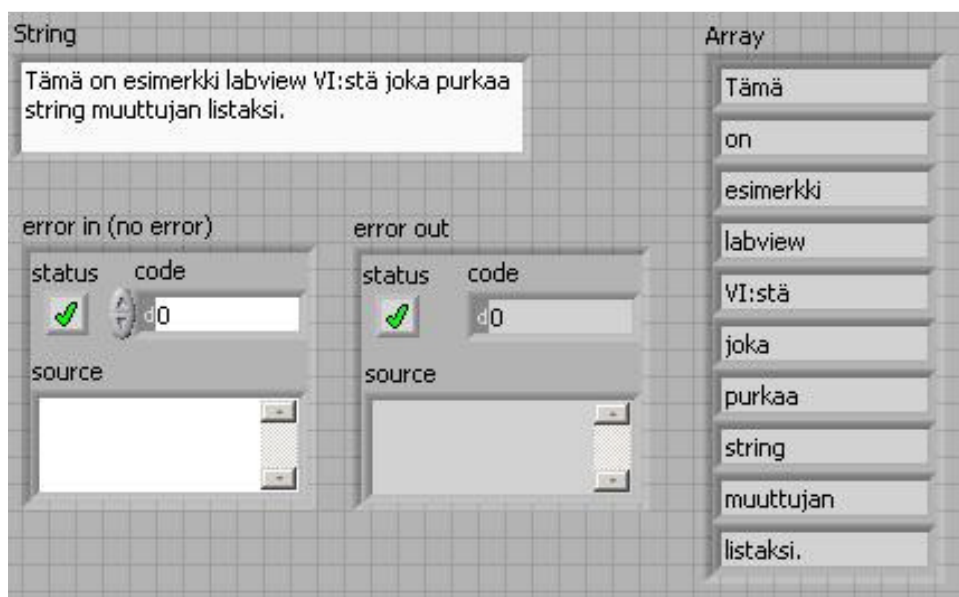
Keithley 2306-akku/laturi-simulaattorilla voidaan simuloida akun toimintaa laitteessa tai teholähdettä, josta akku latautuu. Säädettävänä parametreina ovat ulostulon jännite, virta, impedanssi ja jänniterajat akulle. Mikäli raja saavutetaan, akun lataus lopetetaan, ja tämä vastaa tilannetta, jossa akun varaus on täynnä. Jänniterajat asetetaan aina ennen laitteen kytkemistä akkuun, jotta vältytään ylijännitteeltä. Laitetta ei ole vielä sisällytetty simulointiympäristöön, mutta laite on sisällytetty VI-ohjelmaan, jolloin laite voidaan ottaa käyttöön liittämällä se GPIB-väylään muiden laitteiden kanssa ilman erillisiä toimenpiteitä. Lähteestä [26] kerrotaan tarkemmin laitteen toiminnoista, ja liitteessä 6 on kuva laitteesta.

5.4 LabVIEW-ohjelman rakenne

National Instrumentin LabVIEW-ohjelma pohjautuu graafiseen g-kieleen, joka on visuaalinen ohjelmointikieli. Ohjelmointi tapahtuu manipuloimalla graafisia elementtejä, joiden välille luodaan suhteet. Eli se, miten erilaiset elementit ovat yhteydessä toisiinsa. Ohjelma soveltuu hyvin testaussovellusten suunnitteluun, ja se on laajasti käytössä yrityksessä, jolloin simulointiympäristön ohjelmointi LabVIEW-

ohjelmointiympäristöllä oli luonnollinen valinta. Kyseisellä ohjelmointiympäristöllä tehty ohjelma on nimeltään Virtual Instrument, lyhyesti ilmaistuna VI. Tämä voi sisältää muita aliohjelmia, joita voi kutsua kopioimalla niitä kuvastavat ikonit pääohjelmaan. Jotta aliohjelma toimisi halutusti pääohjelman kanssa, pitää sille määritellä sisään- ja ulostulot, joihin liitetään ne signaalit, joita aliohjelma tarvitsee toimiakseen. G-kielen luonteen vuoksi VI:tä tai funktiota ei ajeta, ennen kuin kaikki sen sisääntulot ovat määriteltyjä. Ohjelmointiympäristö eroaa normaalista lausepohjaisesta kielestä siten, että VI:tä ei suoriteta lineaarisesti käsky käskyltä vaan monia funktioita voidaan ajaa samanaikaisesti. Ohjelmointiympäristöllä voidaan luoda monenlaisia ohjelmia, joissa on rajapinta tietokannalle, html-sivulle tai matkapuhelimelle jne.

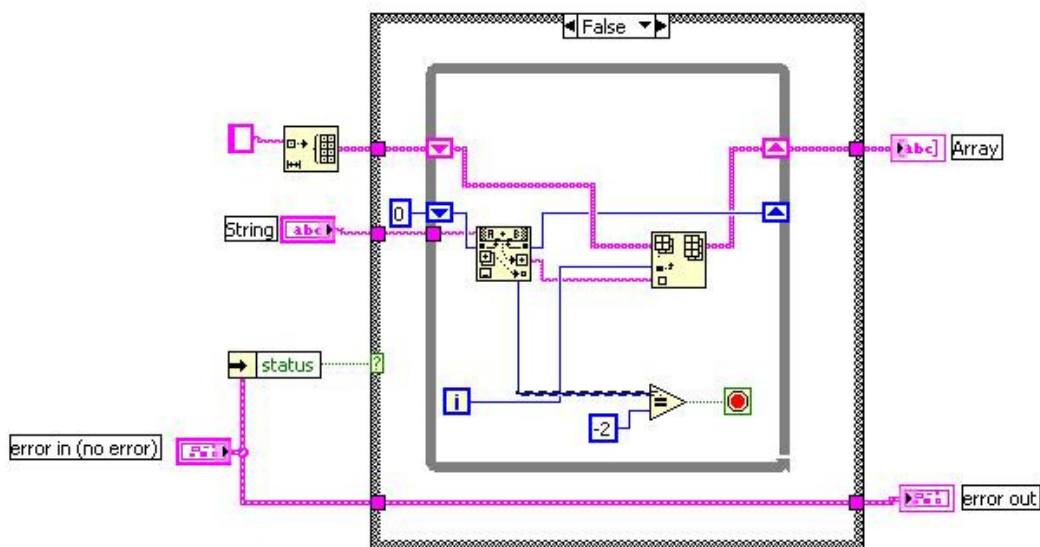
VI koostuu kahdesta eri osasta, etupaneelista ja lohkoavioista. Etupaneelilla on se osa ohjelmasta, johon käyttäjä määrittelee ohjelman parametrit ja joka ylipäättään on vuorovaikutuksessa ohjelman kanssa. Tähän ohjelmaosaan voidaan sijoittaa interaktiivisia muuttujia kuten painonappeja tai kuvaajia, jotka välittävät tietoa ohjelman kulusta käyttäjälle. Esimerkki etupaneelista nähdään kuvassa 4.



Kuva 4. Esimerkki VI:n etupaneelista, jossa näkyy ohjelmalle annettavat parametrit ja ulostulo.

Kuvassa 4 näkyvän ohjelman tarkoituksena on purkaa string-muuttuja, joka voi olla joko yksittäinen lause tai kappale. Purettava string-muuttuja kirjoitetaan tekstikenttään, jonka jälkeen ohjelma voidaan ajaa. Käynnistyessään VI tarkastelee string-muuttujasta tyhjiä välejä ja jakaa yksittäiset sanat listaan, jonka koko muuttuu sen mukaan, kuinka monta sanaa string-muuttujasta tunnistetaan.

Toinen osa, lohkokaavio, sisältää taustalla toimivan osan ohjelmasta. Lohkokaaviossa tehdään elementtien väliset yhteydet, jotka määrittelevät ohjelman toiminnan. Esimerkkihjelman elementtien yhteydet näkyvät kuvassa 5. Ohjelmointi LabVIEW'illa tapahtuu kuvassa näkyvällä tavalla. Eli linkittämällä elementtejä toisiinsa, jolloin saadaan luotua haluttu toiminto.



Kuva 5. Esimerkkihjelman lohkokaavio, jossa määritellään ohjelman toiminta.

Ohjelman lohkokaaaviosta nähdään sen toimintaperiaate. Case-rakenteeseen tuodaan string-muuttuja kuten myös alustettu lista, johon string-muuttujasta otetut yksittäiset sanat siirretään. Case-rakenteessa on true- ja false-vaihtoehdot, joista aina toinen valitaan. Nämä ehdot katsotaan error in -funktioista, joka sisältää kaikki ohjelman virheilmoitukset. Mikäli niitä ei ole, case-rakenne toteutetaan false-ehdolla. Case-

rakenteen sisällä on while-rakenne, joka purkaa sisääntulevasta string-muuttujasta yksittäiset sanat ja siirtää ne alustettuun listaan. Lista kiertää while-rakenteen sisällä siirtorekisterissä, jotta siihen siirretyt yksittäiset sanat säilyvät. Funktio (scan string for tokens), joka etsii string-muuttujasta tyhjiä välejä, pitää muistissaan viimeksi löytämänsä tyhjän kohdan indeksilukua, jotta se ei aloittaisi tyhjän välin etsimistä aina string-muuttujan alusta. Kun funktio ei enää löydä tyhjiä kohtia string-muuttujasta, ilmoittaa se tästä lähettämällä indeksiluvun -2 funktiolle joka vertailee sille syötettyä lukua lukuun -2. Funktion ulostulo muuttuu true tilaan, mikäli syötetty luku on yhtä suuri kuin ennalta määritelty luku. Kun tämä tapahtuu, while-rakenne lopetetaan. Lopuksi sanat näytetään listassa, johon ne on siirretty. Kyseinen lista näkyy VI:n etupaneelilla, jossa ensimmäinen luettu sana on ylimmäisenä.

6 Simulointiympäristön suunnittelu

6.1 Ominaisuudet ja toimintaperiaate

Työn alussa pidetyssä palaverissa käytiin läpi simulointiympäristön toimintoja ja LabVIEW-ohjelmalla tehdyn koodin rakennetta. Palaverissa päätettiin, mistä laitteista simulointiympäristö koostuisi ja miten niitä tulisi ohjata. VI:n tulisi olla dynaaminen, jotta se soveltuisi SL1-laitteen ja muiden moduulien/tuotteiden testaukseen.

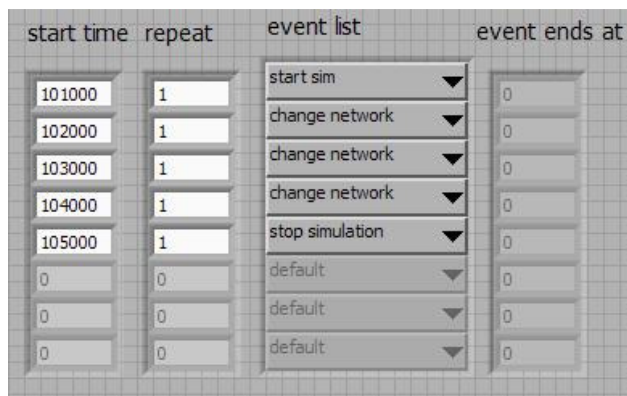
Testattava laite tunnistettaisiin sen antaman vastauksen perusteella, jota verrattaisiin VI:hin tallennettuihin tietoihin. Laitteita ohjataan tapahtumilla, joilla on omat käskylistat. Tapahtumia kutsuttaessa niille määriteltäisiin aloitusaika ja se, monta kertaa tapahtuman toistuisi peräkkäin. Käskylistat koostuisivat riveistä ja sarakkeista, joissa yksi rivi vastaisi tiettyä aikaa. Rivin ensimmäinen solu olisi aikatieto, joka määrittelisi, milloin seuraavissa rivin soluissa olevat käskyt lähetettäisiin ohjattaville laitteille. Komennot ovat jokaiselle laitteelle omat, jolloin laitteiden käskylistojen tuntemus on vaatimuksena käskylistoja kirjoitettaessa. Esimerkki yhdestä käskylistan rivistä voidaan nähdä taulukossa 2.

Taulukko 2. Käskylistan yksi rivi

Time	SL1	GSM	Power supply	Multimeter	Keithley	GPS
103015	AT^moni	OLVL -70	APPLY 12	Sample:count 10	Source:state?	EN,1

Taulukosta 2 nähdään käskylistan rakenne. Ensimmäisessä sarakkeessa on aika, ja sitä seuraavat sarakkeet ovat tarkoitettu laitteille. Käskyjen synkronointi tapahtuu siten, että VI etsii GPS-simulaattorilta tulevasta NMEA-protokollasta \$GPGGGA-lauseen, joka sisältää ajan UTC-muodossa, ja tätä verrataan ensimmäisessä sarakkeessa olevaan aikaan. Mikäli sama aika löytyy, sen rivin komennot lähetetään laitteille. Jokaiselle riville ei tarvitse kirjoittaa aikaa, vaan VI tekee sen automaattisesti. Koska käskylistat voidaan ennalta kirjoittaa tapahtumille ja kutsua niitä useasti, ainoaksi parametriksi käyttäjälle jää, milloin tapahtumaa kutsutaan ja kuinka monta kertaa. Ennalta rakennetut tapahtumat helpottavat simulaation rakentamista, koska koko simulaatiota

ei tarvitse kirjoittaa käsin, mikä johtaisi usean sadan rivin käskylistään. Ennalta rakennettuja tapahtumia, jotka ovat 1-50 rivisiä käskylistöjä, voidaan kutsua valikolla, jossa tapahtumat ovat listattuna. Tämä mahdollistaa monen erilaisen tapahtuman kutsumisen nopeasti ja ilman vaivalloista käskylistöjen kirjoittamista. Kuvasta 6 esitetään, kuinka tapahtumia voidaan valita ja miten niiden järjestystä voidaan muuttaa. Valittujen tapahtumien pohjalta VI luo testin aikana käytettävän käskylistän.



Kuva 6. Tapahtumien valitseminen käyttämällä tapahtumalistaa.

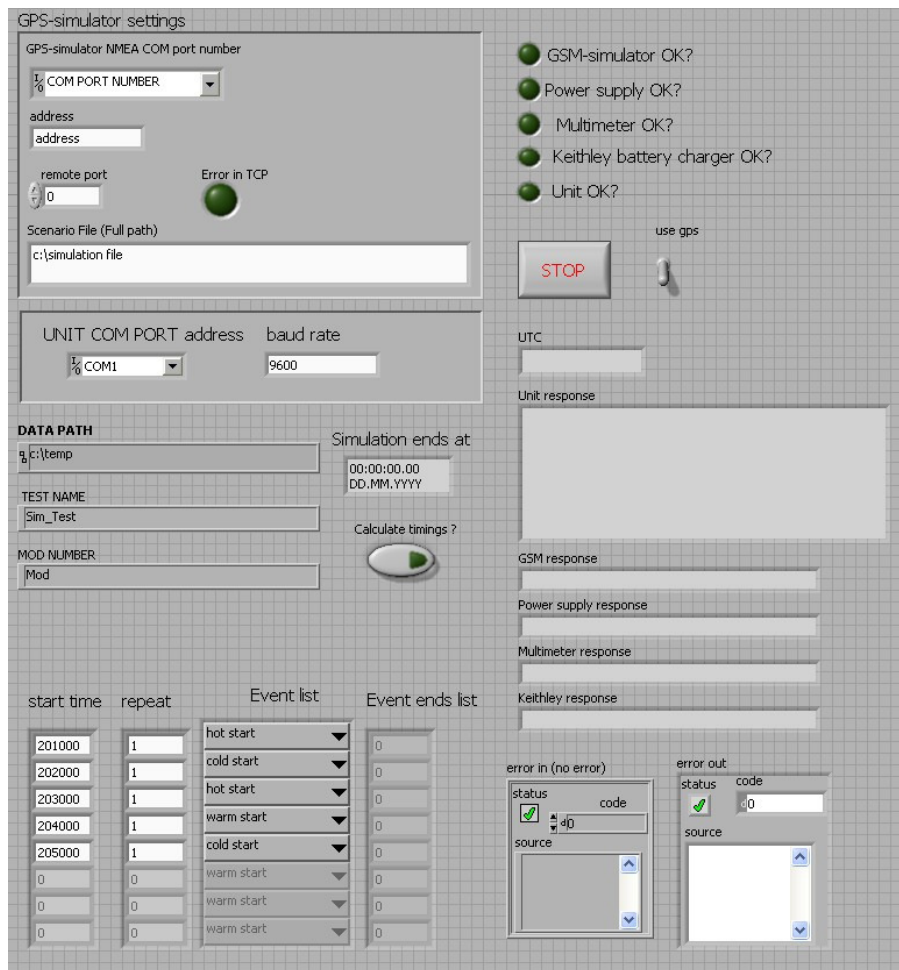
Kuva 6 sisältää tapahtumalistan, josta voidaan valita erilaisia tapahtumia. Listassa *start time* on se aika, jolloin halutaan tapahtuman käynnistyvän. Esimerkiksi, jos halutaan tapahtuman *change network* alkavan samaan aikaan kuin GPS-simulointi alkaa, katsotaan GPS-simulointi ohjelmasta Simplex se aika, joka näkyy simuloinnin alussa ja kopioidaan tämä aika listaan *start time* kohtaan *change network*. Tämä mahdollistaa tapahtumien linkityksen GPS-simulaatioon, jolloin voidaan käynnistää tapahtuma, joka esimerkiksi mittaa GPS-signaalia, kun simuloinnissa ajetaan tunneliin, jolloin paikannussignaali vaimenee. Koska tapahtumat ovat toisistaan riippumattomia, niiden järjestystä voidaan vaihtaa, mahdollistaen hyvin laajat testaussovellukset.

Tapahtumalistan jälkeinen *event ends list* on käytännöllisyyden vuoksi tehty lista, jossa on tapahtumien loppumisaika. Mikäli tapahtumia halutaan järjestellä mielivaltaisesti, täytyy tietää myös, milloin tietty tapahtuma loppuu, jotta sen jälkeen voidaan aloittaa uusi tapahtuma ilman että kyseiset kaksi tapahtumaa menevät ajallisesti päällekkäin. LabVIEW-ohjelmalla tehty Virtual Instrument on rakennettu siten, että kirjoitettaessa kuvassa 6 näkyvään *start time* -sarakeeseen, milloin tapahtuman halutaan alkavan,

ohjelma katsoo, montako käskyriiviä kutsuttavassa tapahtumassa on, ja sen mukaan rakentaa ajastuksen lähteille käskyille. Esimerkiksi, jos halutaan tapahtuman alkavan ajanhetkellä 100000 (voidaan kääntää suoraan muotoon 10:00:00) ja tapahtumassa on 3 käskyriiviä, ohjelma ajastaa käskytykset sekunnin päähän toisistaan, jolloin ensimmäinen käskyriivi toteutetaan ajalla 100000 ja seuraavalla käskyriivi toteutetaan hetkellä 100001 ja niin edelleen. Koska valmiit käskyriivit muodostuvat 1-50 rivistä, tapahtumaa pitää pystyä kutsumaan monta kertaa peräkkäin. Jos halutaan rakentaa 24 tuntia kestävä simulaatio ja valmiissa tapahtumissa on maksimissaan 50 riviä käskyjä, kutsuttavia tapahtumia täytyy olla $60 \text{ sek} * 60 \text{ min} * 24 \text{ H} = 3600 \text{ sekuntia}$, joka jaetaan 50 sekunnilla (yhdelta käskyriiville varataan yksi sekunti), jolloin kutsuttavien tapahtumien määräksi saadaan 1728. Tämän vuoksi VI-ohjelmaan suunniteltiin *repeat*-valikko, josta voidaan valita, kuinka monta kertaa tapahtuma toistuu peräkkäin, jolloin voidaan toteuttaa helposti testejä, joissa tietty tapahtuma toistuu useasti. Samalla voidaan ketjuttaa testejä peräkkäin, jolloin testiä ei tarvitse manuaalisesti vaihtaa edellisen loputtua.

6.2 Virtual Instrumentin rakenne

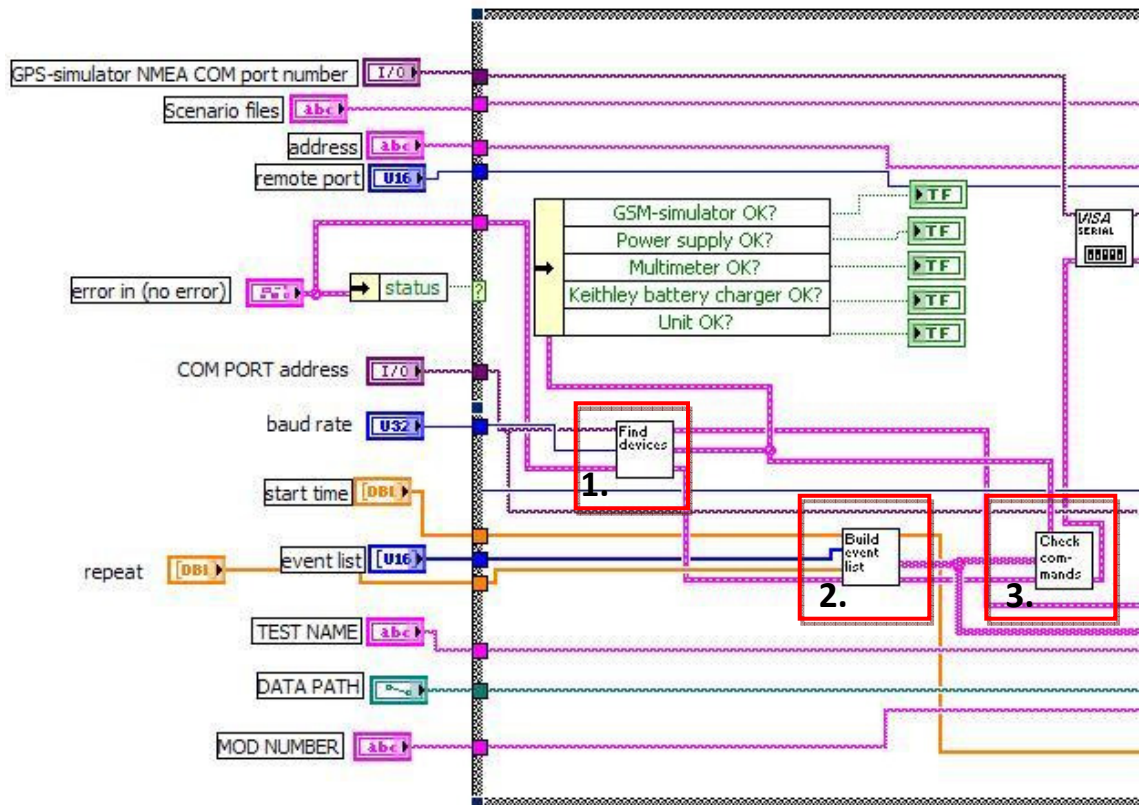
Edellisessä kappaleessa käytiin läpi osa Virtual Instrumentin rakenteesta, tarkemmin sanottuna se osa, jolla valitaan toteutettavat tapahtumat. Tässä luvussa käydään hieman tarkemmin läpi koko simulointiympäristön rakenne. VI:n etupaneeli, jossa annetaan ohjelman vaatimat parametrit, on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Simulointiympäristön etupaneeli, jossa määritellään ohjelman parametrit ja simuloinnin aikana kutsuttavat tapahtumat.

Kuvan 7 vasemmassa yläkulmassa määritellään GPS-simulaattorin asetukset, jotka ovat simulaattoria ohjaavan palvelimen osoite, porttinumero, käytettävän simulaation hakemistopolku ja porttinumero, josta palvelimelta tuleva GPS-data saadaan. Tämän alapuolella määritellään testattavan laitteen porttinumero ja baudinopeus tiedonsiirrolle. Sen alla on 3 tekstikenttää, joihin määritellään testin nimi, hakemistopolku, mihin testitulokset tallennetaan, ja testattavan laitteen numero. Muille laitteille ei määritellä I/O-linjoja, vaan ohjelma on suunniteltu siten, että käynnistyessään se lähettää laitteille tunnistautumiskäskyn ja laitteilta tulevan vastauksen perusteella osaa määrittää niille oikean GPIB-osoitteen. Tämä toiminto sisältyy Find devices -aliohjelmaan, joka näkyy ensimmäisen (1.) punaisen neliön sisällä

kuvassa 8. Ohjelman koon vuoksi se on katkaistu neljään osaan, jotta siitä saataisiin tarpeeksi selkeä kuva.

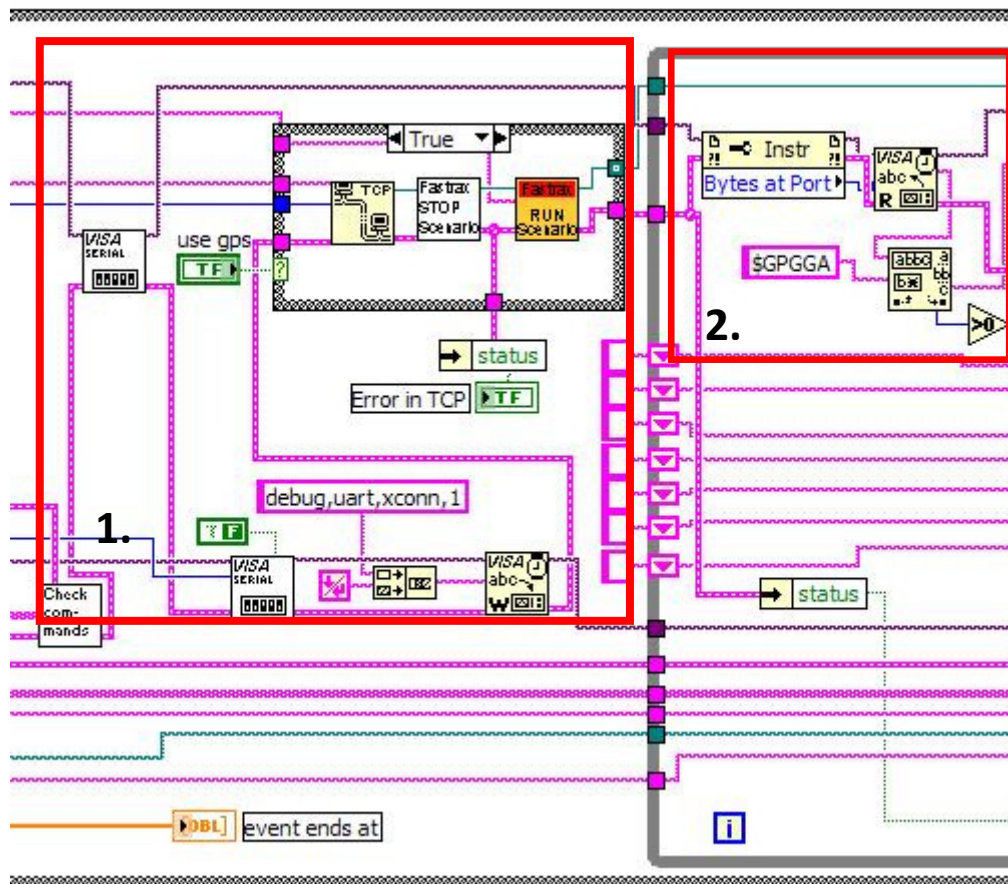


Kuva 8. Simulointiympäristön ohjelman ensimmäinen osa.

Kuvassa 8 esitetään LabVIEW-ohjelmalla tehdyn VI:n yleinen rakenne. Vuo-pohjainen ohjelmointikieli alkaa aina hyvän tavan mukaisesti vasemmalta oikealle, ja kuvasta nähdään, kuinka asetettavat parametrit ovat vasemmassa laidassa, jolloin ohjelma käsittelee parametrit ennen muita ohjelman osia. Ohjelman käynnistyessä se käsittelee valitut parametrit, kuten laitteiden I/O-osoitteet, tapahtumat ja niiden ajastukset jne. Tämän jälkeen ohjelma tutkii, mitkä laitteista ovat päällä find devices -aliohjelmassa ja määrittää laitteille GPIB-osoitteet. Tämän jälkeen ohjelmassa siirrytään aliohjelmaan nimeltä build event list (kts. kuva 8, toinen (2.) punainen neliö), joka rakentaa valittujen tapahtumien pohjalta käskylistan, jossa ohjelma on tehnyt ajastukset automaattisesti. Tämä käskylista voi olla satoja rivejä pitkä, mikäli valittuja tapahtumia monia. Build event list -aliohjelman toiminta selitetään pintapuolisesti seuraavaksi.

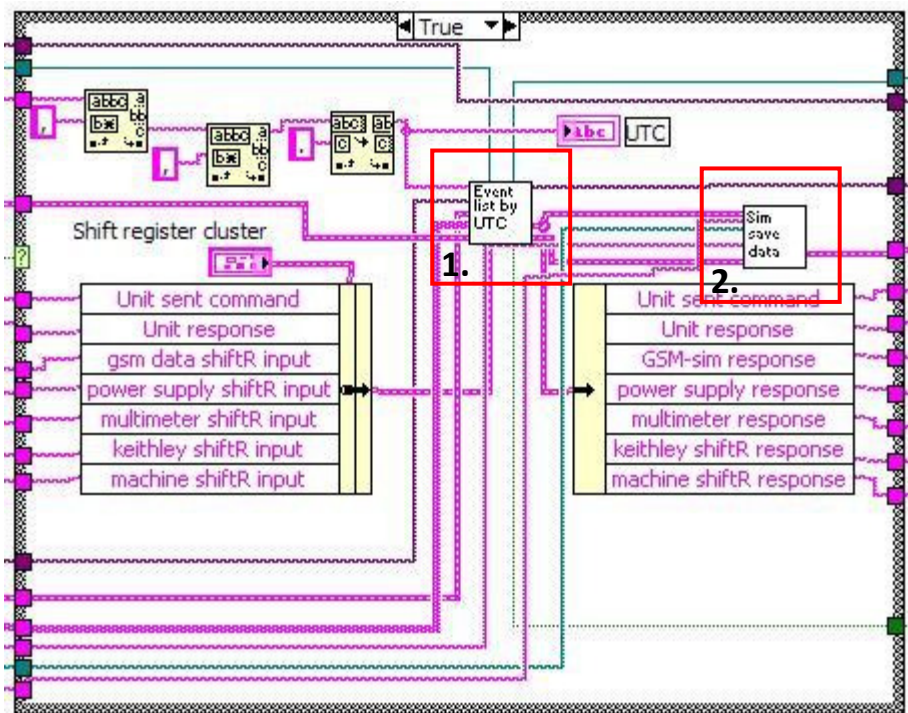
Valmiit tapahtumat, joissa on käskylista, sisältävät ensimmäisellä rivillään string-tunnisteen, jota käytetään käskylistan alkuosan tunnistamiseen. Käskylistan loppu saadaan lukemalla ensimmäistä saraketta LabVIEW'n funktiolla search 1d array, joka etsii tunnisteita soluista. Kun ohjelma löytää seuraavan tunnisteen, tiedetään, miltä riviltä tapahtuma alkaa ja mille riville se loppuu. Kun tapahtumien käskylistat on koottu yhdeksi selkeäksi listaksi, jossa jokaisella rivillä on aikatunniste, palataan takaisin pääohjelmaan. Aliohjelmassa luotu käskylista viedään check commands VI:lle, jonka tehtävänä on tarkistaa komentojen ja laitteiden riippuvuus toisistaan. Edellä mainittiin aliohjelman tarkistavan ovatko laitteet päällä vai ei, joten VI tarkistaa, onko rakennetussa käskylistassa yhtäkään komentoa laitteelle, joka ei ole päällä. Mikäli aliohjelma löytää sellaisen, annetaan siitä virheilmoitus käyttäjälle. Tällä halutaan estää simulaation aloittaminen ilman tarpeellista laitetta. Jos jokin simulointiympäristön laite sammutettaisiin kesken kaiken, laitteelle lähetettyyn komentoon odotettaisiin 10 sekuntia vastausta. Tänä aikana jäisi mahdollisesti komentoja lähettämättä, mikä johtaisi virheelliseen simulaatioon. Ohjelmassa ei ole varauduttu testilaitteen yllättävälle sammumiselle, joten ainoa indikaattori tästä olisivat puuttuvat mittaustulokset.

Mikäli check commands -aliohjelma hyväksyy rakennetun käskylistan, avataan tietokoneen COM-portti, johon on liitetty sarjakaapeli palvelimelta. Tästä COM-portista saadaan NMEA-data, jota käytetään tapahtumien kutsumisessa. Samaan aikaan avataan toinen COM-portti testattavalle SL1-laitteelle, jotta sille voidaan lähettää käskyjä ja vastaanottaa laitteen lähettämiä vastauksia. Kun kaikki on valmista testin aloittamista varten, avataan yhteys GPS-simulaattorille ja käsketään Simplex-ohjelmaa aloittamaan ennalta määritelty simulaatio. Tämä tapahtuu kuvan 8 ensimmäisessä (1) punaisen neliön sisällä. Tämän jälkeen ohjelmassa siirrytään vaiheeseen, jossa luetaan GPS-simulaattorilta tulevaa NMEA-dataa ja toteutetaan käskyjä vertailemalla NMEA-datan sisältämää UTC-aikaa ja käskylistassa olevaa UTC-aikaa. Vaihe on havainnollistettu kuvan 9 kohdassa 2.



Kuva 9. Käskylistan muodostamisen jälkeen avataan tarvittavat COM-sarjaportit ja aloitetaan NMEA-datan lukeminen sarjaportista.

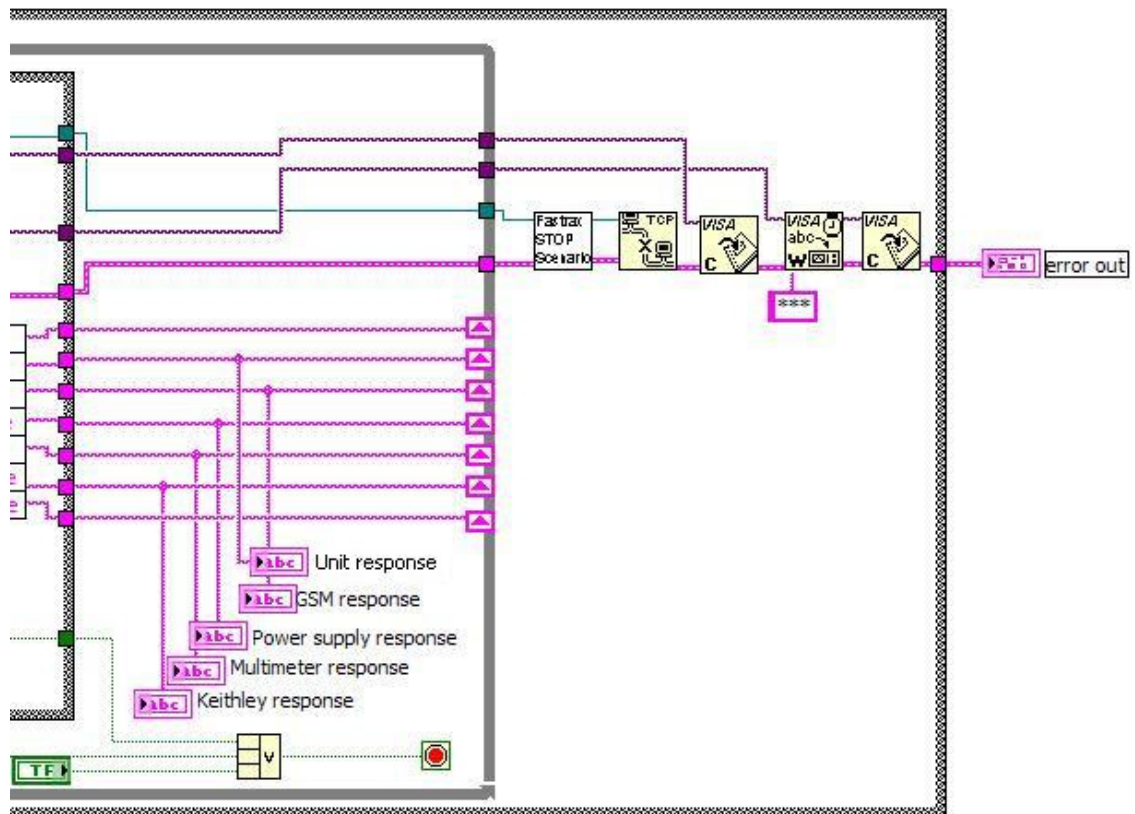
VI aloittaa while-rakenteen, kun yhteys on avattu GPS-simulaattorille. While-rakenne toistuu, kunnes simulointiympäristön etupaneelista painetaan stop nappia tai kunnes GPS-simulaattorille lähetetään lopetussanoma -,EN,1. Rakenteen alussa kohdassa 2 luetaan NMEA-protokollasta GPGGA-lausetta, ja mikäli se löydetään, siirrytään kuvan 10 kohtaan 1. Mikäli kuvan 9 kohdassa 2 näkyvä vertailuoperaatio ei löydä GPGGA-lausetta NMEA-datasta, kuvassa 10 näkyvä Case-rakenne toteutetaan false-ehdolla, jolloin ohjelmassa ei tapahdu mitään.



Kuva 10. GPGGA-lauseesta aikatiedon siirtäminen Event list by UTC VI:hin, joka vertailee aikatieta käskylistassa oleviin aikoihin.

Kuvan 10 vasemmasta yläkulmasta karsitaan GPGGA-lauseesta muut paitsi aikatieta pois ja syötetään tämä kohdan 1 VI:hin. Event list by UTC VI lukee yhdestä sisääntulostaan käskylistaa ja etsii listasta samaa aikaa kuin GPS-simulaattorin lähettämä aika. Mikäli vastaavuus löytyy, VI lähettää käskyt ohjattaville laitteille ja lukee laitteiden vastaukset, mikäli komento on kyselymuodossa. Lähetetyt käskyt ja vastaukset siirtyvät klusterina Sim save data VI:lle, joka tallentaa laitteilta tulevat vastaukset tekstitiedostoihin laitekohtaisesti. VI tallentaa myös GPS-simulaattorilta tulevan NMEA-datan tekstitiedostoon. Tekstitiedostot voivat paisua hyvinkin suuriksi, joten jatkokehityksenä tullaan tekemään VI:t, jotka karsivat tarpeettomat tiedot laitteiden vastauksista ja muodostavat html-pohjaisen raportin, josta nähdään testitulokset selkeästi. Yksittäiset laitteiden vastaukset näkyvät myös VI:n etupaneelissa, jossa viimeisin laitteen lähettämä vastaus näkyy, kunnes uusi vastaus korvaa vanhan. Mikäli Event list by UTC VI:lle lähetetään -,EN,1 -komento, joka on tarkoitettu GPS-simulaattorille, ohjelma huomaa tämän ja lähettää while-rakenteelle

lopetussignaalin. Tällöin ohjelma siirtyy viimeiseen vaiheeseen, jossa suljetaan käytetyt sarjaportit.



Kuva 11. Ohjelman loppuessa while-rakenteelle lähetetään lopetussignaali ja käytetyt sarjaportit suljetaan.

Kuvasta 11 nähdään VI:n tapahtumat, kun simulaatio loppuu. Ohjelma lopetetaan aina lähettämällä GPS-simulaattorille käsky lopettaa simulaatio, jolloin while-rakenne loppuu. Kun ohjelmassa siirrytään pois while-rakenteesta, jäljellä olevat toiminnot ovat I/O-liitäntöjen sulkeminen ja vapauttaminen. VI:ssä varataan TCP/IP-yhteys palvelimelle, sarjaportti GPS-simulaattorilta tulevalle NMEA datalle ja sarjaportti testattavalle laitteelle. Nämä yhteydet suljetaan ja SL1-laite palautetaan normaaliin käyttötilaan, jotta laitetta voidaan käyttää simulaation jälkeen. VI:n loppuosaan tullaan lisäämään automaattinen raportointi VI, joka tekisi raportin mittaustuloksista. Tämä toteutetaan todennäköisesti seuraavassa ohjelmaversiossa.

6.3 Simuloinnin tarkkuus

Testien tarkkuus riippuu niiden suunnittelusta ja ympäristöoloista. Nykyisellään testattavat laitteet sijoitetaan testialustoille, joihin syötetään joko oikeaa GPS-signaalia tai sitten käytetään GPS-simulaattorilta tulevaa signaalia, riippuen testistä. Ennen ajoneuvon seurantajärjestelmän testauksessa käytettäviä tapahtumien suunnittelua täytyy ottaa huomioon, mitä tietyllä tapahtumalla halutaan mitata ja miten tuloksia siitä voidaan saada. Tapahtumien suunnittelu tulee todennäköisesti pohjautumaan yrityksen jo olemassa oleviin testeihin.

6.4 Vastoinkäymiset simulointiympäristön kanssa

Simulointiympäristöä suunnitellessa laitteen varsinaista ympäristöä ei otettu huomioon, vaan ainoa vaatimus oli vaadittujen laitteiden kytkentämahdollisuus yhteen tietokoneeseen, josta voidaan ohjata laitteita. Ympäristöä rakentaessa ja alustavia laitetestejä suoritettaessa kävi ilmi, että GSM-tukiaseman ollessa hyvin lähellä testattavalla laitteella on taipumus hypätä Elisan verkkoon, vaikka laite on kytketty GSM-simulaattoriin suoraan kaapelilla. Tämä johti olettamukseen, että kaapeli, jolla SL1 laite oli kytketty GSM-simulaattoriin, oli puutteellisesti suojattu. Jotta GSM-simulaattoria voitaisiin käyttää, tarvitaan EMC-suojattu alue, jossa yleiset verkot eivät näkyisi testattavalle laitteelle. Ensimmäisenä yrityksenä oli käyttää salkkua, joka oli vuorattu sisältä foliolla. Yritys epäonnistui, koska SL1-laitteeseen kytketyt kaapelit jättivät foliosalkun hieman raolleen ja laite onnistui kytkeytymään Elisan GSM-verkkoon. Salkun ollessa melkein kiinni nähtiin GSM-signaalin tasossa eroavaisuus verrattuna laitteen ollessa pöydällä. Eroavaisuutta mitattiin kahden tunnin aikavälillä testillä, jossa laitteelta kysytään ensin sen ollessa pöydällä GSM-verkon signaalin vahvuutta ja tämän jälkeen laite sijoitetaan foliolla vuorattuun salkkuun. Kahden tunnin kuluttua laitteelle lähetetään uudelleen at^moni-komento ja näiden kahden vastauksen sisältöä verrataan toisiinsa. SL1-laitteen GSM-modeemin vastaukset näkyvät kuvassa 12.

```

at^moni
Serving Cell
chann rs dBm MCC MNC LAC cell NCC BCC PWR RXLev C1 I chann TS timAdv PWR dBm
Q ChMod
713 31 -85 244 05 2330 F43B 7 7 30 -96 16 I No connection
OK

```

Kuva 12. SL1 GSM-modeemin vastaus sen ollessa pöydällä.

GSM-modeemin vastauksesta nähdään kuvasta 12, että signaalin vahvuus on normaali -85 dBm verrattaessa tätä lukemaa kohdan 5.3.1 kuvioon 1. Seuraavaksi tarkastellaan GSM-signaalin vahvuutta SL1-laitteen ollessa foliolaatikossa.

```

at^moni
Serving Cell
chann rs dBm MCC MNC LAC cell NCC BCC PWR RXLev C1 I chann TS timAdv PWR dBm
Q ChMod
713 18 -92 244 05 2330 F43B 7 7 30 -96 3 I No connection
OK

```

Kuva 13. SL1-laitteen vastaus AT^moni-komentoon sen ollessa foliolaatikossa.

Kuvia 12 ja 13 vertailemalla nähdään GSM-verkon signaalin tason laskeneen 7 dBm. Tästä huolimatta laite pitää yhteyden samaan verkkoon. Komento lähetettiin laitteelle sen ollessa foliosalkussa 2 tunnin ajan. Jatkotesteissä tullaan määrittelemään se signaalin taso, jolloin laite menettää yhteyden GSM-verkkoon. Samalla selvitetään, miten rakennetaan EMC-suojattu ympäristö, jossa testattava laite ei voi kytkeytyä yleisiin GSM-verkkoihin.

7 Parannusehdotuksia simulointiympäristöön

Simulointiympäristöä luodessa törmättiin useasti LabVIEW-ohjelman toimintoihin ja olettamuksiin, kuinka tietty osa-alue ohjelmasta toimisi, mikä johti muutaman kerran järjestelmän kokonaan uudelleen suunnitteluun. Työn yksi laajin osa-alue oli tarve oppia SL1-laitteen komennot, simulointiympäristön laitteiden toiminnot ja käskykannat. Haastetta aiheutti myös simulointiympäristön suunnittelemisen modulaariseksi ja dynaamiseksi, mikä esti suuresti staattisten arvojen käytön VI:ssä.

Seuraavaan ohjelmaversioon tullaan muuttamaan tapaa lisätä uusia tapahtumalistoja build command list VI:hin. Tällä hetkellä tapahtumalistoja on vain neljä, jolloin ei voida toteuttaa monta erilaista testitilannetta ja niiden lisääminen on nykyisellään hankalaa ja vaatii lohkokaaavion muuttamisen monelta osin. Tavoitteena on tehdä tapahtumien luominen Excel-pohjaiseksi, jolloin voidaan helposti tehdä uusia tapahtumia tarpeen mukaan. Tällöin simulointiympäristöstä tulee helppokäyttöinen, ja testien suunnittelu nopeutuu AT-komentoja tukeville laitteille.

Toinen kehitettävä ominaisuus on tehdä VI kaksiosaiseksi, jossa ensimmäisessä osassa luetaan tapahtumat Excel-tiedostosta ja tarkistetaan ovatko syötetyt käskyt ja parametrit hyväksyttäviä. Toisessa vaiheessa käynnistetään itse simulaatio. Samoin voitaisiin liittää ajanseurantaan liittyvä ominaisuus, jossa testin alussa arvioidaan, kuinka kauan testit kestäisivät, ja luoda tämän tiedon pohjalta aikalaskuri, joka näyttää, kuinka kauan testiä on vielä jäljellä. Yksi merkittävin kehitysidea olisi liittää simulointiympäristöön lämpökaapin ohjaus, jolloin voitaisiin simuloida laitteen toimintaa -40 °C:sta 85°C:seen. Yrityksen laboratoriossa sijaitseva lämpökaappi mahdollistaisi tämän kehitysideoita toteuttamisen, jolloin ainoa toimenpide olisi lämpökaappia ohjaavan VI-aliohjelman ohjelmoiminen.

SL1-laitetta liitettäessä tietokoneeseen tulee aina poistaa laitteen yläkuori ja liittää debug-piirilevy laitteeseen, mikä tuo omia hankaluuksia testien suorittamiseen. Helpompi tapa olisi liittää laite langattomaan verkkoon, joka lähettäisi laitteelle käskyt

ja lukisi laitteen lähettämät vastaukset. Tällöin laite voitaisiin testata paljon helpommin. Mahdollisesti verkkoon voitaisiin liittää useampia testattavia laitteita samaan aikaan, jolloin testausprosessi suoritettaisiin paljon nopeammin verrattuna laitteiden testaamiseen yksi kerrallaan.

8 Loppupäätelmät

Alustavien toimintavarmuustestien perusteella SLA:sta on onnistuttu tekemään dynaaminen työkalu, jolla voidaan suorittaa erilaisia testejä SL1-laitteelle ja luoda uusia testejä vaatimuksien noustessa. Kattavaa käyttötestiä ei ole suoritettu, koska laitteelle ei ole rakennettu ympäristöä, jossa yleisessä käytössä olevat GSM-verkot eivät näkyisi laitteelle. Simulointiympäristö on kuitenkin osottautunut toiminnalliseksi käskyjen lähettämisessä ja mittausten tallentamisessa. Näin ollen voidaan todeta, että insinööriyön tavoitteet saavutettiin niiden tavoitteiden osalta, jotka määriteltiin alkupalaverissa.

Insinööriyön tavoitteena oli luoda työkalu, jolla voidaan lähettää komentoja testattavalle laitteelle ja testivälineille, joita voidaan ohjata tietokoneella.

Simulointiympäristöllä voidaan tehdä mittauksia, joiden pohjalta saadaan varmuutta hypoteeseihin laitteen toiminnasta tietyissä tilanteissa. Koska seurantalaitetta tullaan käyttämään erilaisissa oloiloissa ympäri maailmaa, laitteen testaus on tärkeää, jotta laitteen toimintavarmuuteen voidaan luottaa.

Kaiken kaikkiaan insinööriyön aihe oli hyvin mielenkiintoinen ja avasi mahdollisuuksia kehittää seurantalaitteen testausta ja itse testausprosessia. SLA:n välitön jatkokehittely tulee liittymään seuraaviin epäkohtiin: testattavan laitteen suojaaminen ulkoisilta GSM-signaaleilta, Keithley akkusimulaattori/laturin liittäminen GPIB-väylällä, käskyjen lähettäminen kyseiselle laitteelle ja VI:n muuttaminen siten, että uusia tunnisteita on helppo lisätä testattaville laitteille. Yhteensopivuutta muiden yrityksen tuotteiden kanssa ei ole testattu, mutta tämä tullaan suorittamaan niille laitteille, jotka tukevat AT-komentoja.

Lähteet

- 1 LoJack Car Security System For Stolen Vehicle Recovery (WWW-dokumentti) LoJack. <<http://www.lojack.com/car/pages/car-solutions.aspx>>. 2009. Luettu 17.3.2009.
- 2 Vehicle Tracking Products, data terminals, temperature monitoring (WWW-dokumentti) Trackyou. <<http://www.trackyou.co.uk/products/>>. 2009. Luettu 17.3.2009.
- 3 Global Navigation satellite system (WWW-dokumentti) Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS>>. 2009. Luettu 22.3.2009.
- 4 The LRA on Compass M1 and Laser Ranging Experiment (WWW-dokumentti) Chinese Academy of Sciences. <http://www.oa.eu/gemini/ecoles_colloq/colloques/ilrs2007/PresentationsPdf/10_Session.pdf/10.1_Fumin_LRA_Compass.pdf>. 2007. Luettu 17.3.2009.
- 5 GLONASS status (WWW-dokumentti) Russian Space Agency. <<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:14637162736231801312::NO>>. 2009. Luettu 17.3.2009.
- 6 Johns Hopkins APL technical digest, volume 24, number 2 (2003) (WWW-dokumentti) Johns Hopkins. <<http://www.jhuapl.edu/techdigest/td2402/Williams.pdf>>. 2003. Luettu 17.3.2009.
- 7 BLOCK II SATELLITE INFORMATION (WWW-dokumentti) United States Naval Observatory (USNO). <<ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt>>. 2009. Luettu 6.3.2009.
- 8 Current GPS constellation (WWW-dokumentti) United States Naval Observatory (USNO). <<http://tycho.usno.navy.mil/gpscurr.html>>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 9 Satellite GPS-35 (WWW-dokumentti). NASA. <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/gp35_general.html>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 10 Global Positioning System (WWW-dokumentti) Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 11 GPS-signals (WWW-dokumentti) Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals>. 2009. Luettu 22.3.2009.
- 12 NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM INTERFACE SPECIFICATION IS-GPS-200 Revision D (WWW-dokumentti) GPS JOINT PROGRAM OFFICE. <<http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/IS-GPS-200D.pdf>>. 2004. Luettu 22.3.2009.
- 13 National Marine Electronics Association Approved 0183 Manufacturer's Mnemonic Codes (WWW-dokumentti) NMEA. <<http://www.nmea.org/Assets/032509%200183%20manufacturer%20codes.pdf>>. 2009. Luettu 6.4.2009.
- 14 GSM World (WWW-dokumentti) GSM Association. <<http://www.gsmworld.com/about-us/history.htm>>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 15 Tarmo Anttalainen. 2003. Introduction to Telecommunications Network Engineering. 2nd ed. Artech House.
- 16 ITU-T E.212. The international identification plan for mobile terminals and mobile users. ITU. 1998.

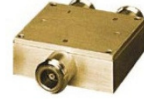
- 17 AT commands – Forum Nokia (WWW-dokumentti) Nokia.
<http://wiki.forum.nokia.com/index.php/AT_Commands>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 18 Miscellaneous Docs and Tools (WWW-dokumentti) Sony Ericsson.
<http://developer.sonyericsson.com/site/global/docstools/misc/p_misc.jsp>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 19 2007. Annex to ITU Operational Bulletin No. 897 – 1.XII.2007. Geneva: ITU
- 20 2008. Annex to ITU Operational Bulletin No. 901 – 1.II.2008. Geneva: ITU
- 21 Radio Communication Analyzer – MT8820A – Anritsu – (WWW-dokumentti) Anritsu.
<http://www.us.anritsu.com/products/MT8820A_Radio-Communication-Analyzer_ARSPG_ARQQSidZ498.aspx> Luettu 16.3.2009.
- 22 Geometric dilution of precision (WWW-dokumentti) Geoframeworks.
<http://www.Geoframeworks.com/Articles/WritingApps2_3.aspx>. 2009. Luettu 23.3.2009
- 23 Spirent STR4500 Multi-Channel Scenario Replay GPS/SBAS Simulation System (WWW-dokumentti) Spirent. <<http://www.spirent.com/documents/67.pdf>>. 2007. Luettu 17.3.2009.
- 24 Agilent E3646A 60W Dual Output Power Supply (WWW-dokumentti) Agilent.
<<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=536902290.384189.00&cc=US&lc=eng>>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 25 Agilent 34401A Digital Multimeter (WWW-dokumentti) Agilent.
<<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?cc=US&lc=eng&nid=536902435.536880933&pageMode=OV>>. 2009. Luettu 23.3.2009.
- 26 Model 2306 Dual-Ch Battery Charger/Simulator (WWW-dokumentti) Keithley.
<http://www.keithley.com/products/fasttransient/?mn=2306>. 2009. Luettu 23.3.2009.

Lite 1: Mini-Circuits -tehosummain ZAPD-21

Coaxial
Power Splitter/Combiner

2 Way-0° 50Ω 500 to 2000 MHz

**ZAPD-21+
ZAPD-21**



N-Type version shown
CASE STYLE: F14

Connectors	Model	Price	Qty.
BNC	ZAPD-21(+)	\$59.95	(1-9)
SMA	ZAPD-21-S(+)	\$64.95	(1-9)
N-TYPE	ZAPD-21-N(+)	\$64.95	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 100°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Power Input (as a splitter)	10W max.
Internal Dissipation	0.125W max.

Coaxial Connections

SUPPORT	S
PORT 1	1
PORT 2	2

Features

- wideband, 500 to 2000 MHz
- low insertion loss, 0.25 dB typ.
- good isolation, 25 dB typ.
- up to 10W power input as splitter
- excellent amplitude unbalance, 0.1 dB typ.
- excellent phase unbalance, 1 deg. typ.
- excellent VSWR, 1.20:1 typ.
- rugged shielded case

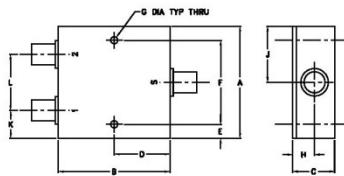
Applications

- UHF
- GPS
- cellular
- PCS/DCS
- communications systems
- instrumentation

Splitter Electrical Specifications

FREQ. RANGE (MHz)	ISOLATION (dB)		INSERTION LOSS (dB) ABOVE 3.0 dB		PHASE UNBALANCE (Degrees)	AMPLITUDE UNBALANCE (dB)
	Typ.	Min.	Typ.	Max.	Max.	Max.
f _c -f _u						
500-2000	25	18	0.25	1.0	3	0.2

Outline Drawing

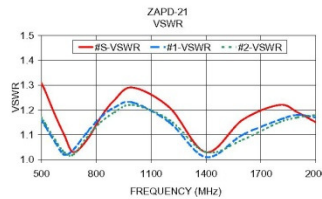
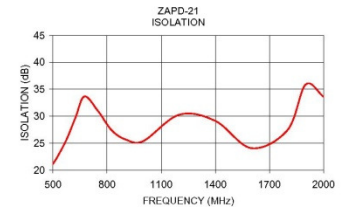
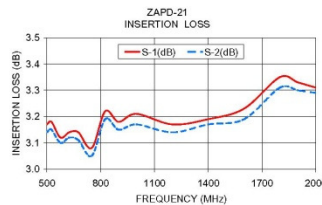


Outline Dimensions (Inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	
2.00	2.00	.75	1.00	.25	1.500	.125	
50.80	50.80	19.05	25.40	6.35	38.10	3.18	
H	J	K	L				wt
.39	1.00	.50	1.00				grams
9.91	25.40	12.70	25.40				170.0

Typical Performance Data

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB)		Amplitude Unbalance (dB)	Isolation (dB)	Phase Unbalance (deg.)	VSWR S	VSWR 1	VSWR 2
	S-1	S-2						
500.00	3.17	3.14	0.03	21.12	0.45	1.31	1.16	1.17
525.00	3.18	3.15	0.03	22.44	0.48	1.27	1.13	1.14
575.00	3.12	3.10	0.02	25.82	0.50	1.18	1.07	1.08
625.00	3.14	3.12	0.02	29.70	0.53	1.10	1.02	1.03
675.00	3.14	3.11	0.03	33.67	0.60	1.03	1.04	1.02
750.00	3.08	3.05	0.03	30.96	0.61	1.08	1.11	1.09
825.00	3.22	3.19	0.03	27.43	0.73	1.17	1.17	1.15
900.00	3.18	3.15	0.03	26.73	0.77	1.24	1.21	1.19
1000.00	3.21	3.17	0.04	25.37	0.68	1.29	1.23	1.22
1200.00	3.17	3.14	0.03	30.28	0.92	1.21	1.15	1.16
1400.00	3.19	3.17	0.02	29.13	1.15	1.03	1.01	1.03
1600.00	3.23	3.19	0.04	24.08	1.27	1.16	1.10	1.08
1800.00	3.35	3.31	0.03	27.44	1.41	1.22	1.18	1.15
1900.00	3.33	3.30	0.03	35.87	1.42	1.19	1.18	1.17
2000.00	3.31	3.29	0.01	33.59	1.48	1.15	1.17	1.18



electrical schematic



INTERNET <http://www.minicircuits.com>

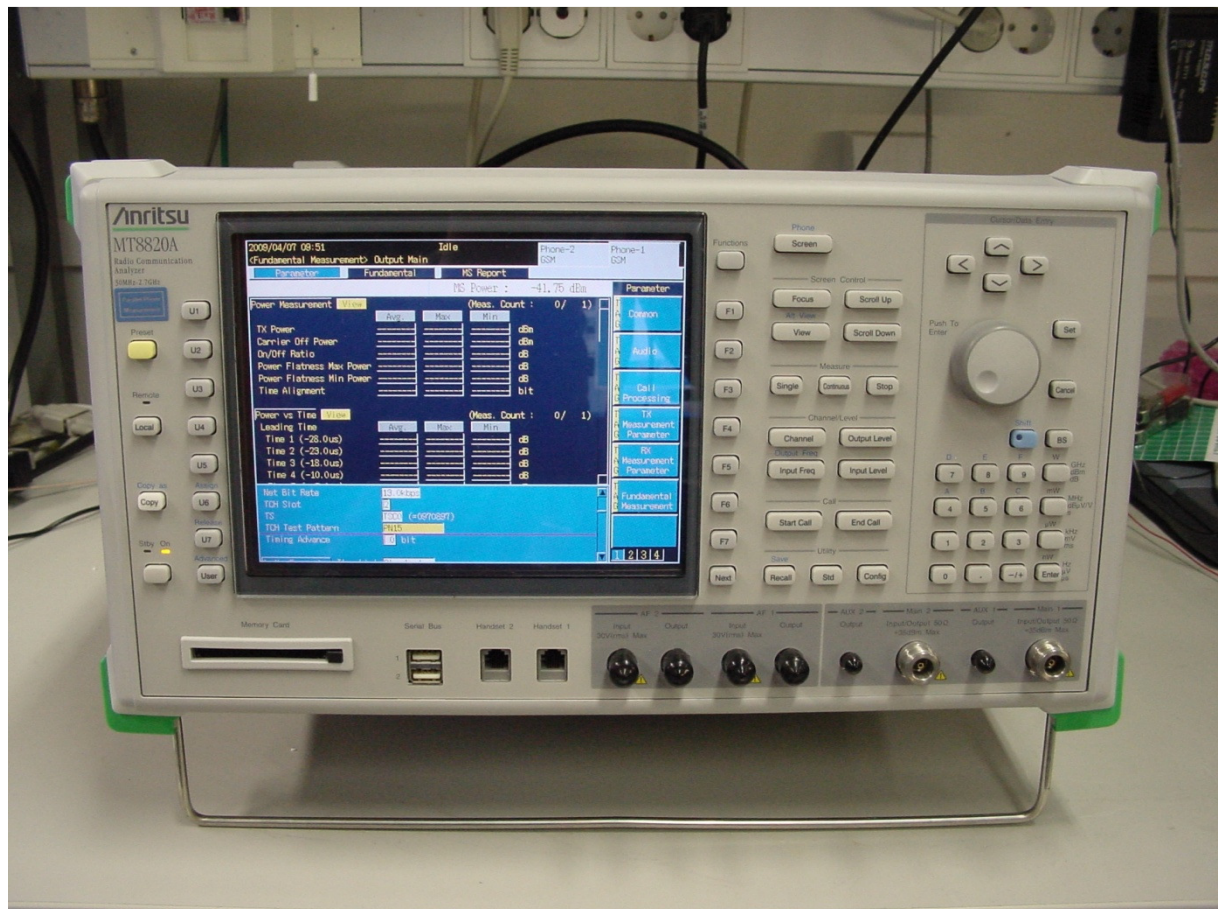
P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661

Distribution Centers NORTH AMERICA 800-654-7949 • 417-335-5935 • Fax 417-335-5945 • EUROPE 44-1252-832600 • Fax 44-1252-837010

Mini-Circuits ISO 9001 & ISO 14001 Certified

REV. A
MS8868
ZAPD-21
HY/TD/CP
060922

Liite 2: GSM-simulaattori Anritsu MT8820A

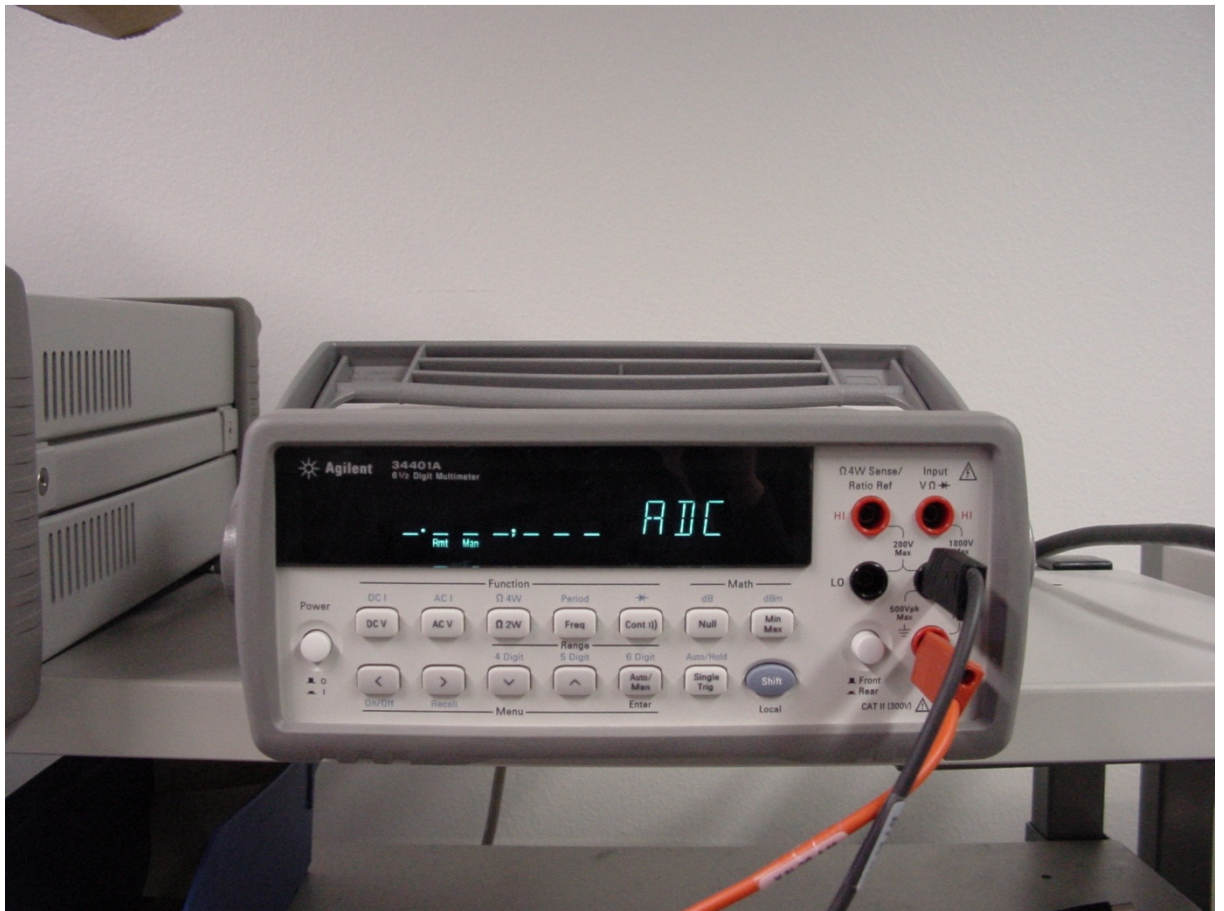


Liite 3: GPS-simulaattori Spirent STR-4500



Liite 4: Agilent E3646A -teholähde



Liite 5: Agilent 34401A -yleismittari

Liite 6: Keithley 2306 -akkusimulaattori/laturi