

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut
Siduselektronika teaduslaboratoorium

Kristjan Lužkov

GPS MOODULI REALISATSIOON JA ANALÜÜS
SIRFSTAR IV KIIBI BAASIL
Bakalaureuse lõputöö

Juhendaja: Olev Märtens
juhtivteadur

Tallinn 2014

Autorideklaratsioon

Olen koostanud antud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusalliktest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Käesolevalt tööd ei ole varem esitatud kaitsmisele kusagil mujal.

Kuupäev:

Autor:

Allkiri:

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:

GPS mooduli realisatsioon ja analüüs SiRFStar IV kiibi baasil

The realization and analysis of a GPS module based on the SiRFStar IV chip

Teema päritolu: TTÜ Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Lõputöö eesmärgid: Valmistada SiRFStar IV kiibiga GPS moodul ning analüüsida selle võimekust võrreldes teiste saadavate lahendustega.

Oodatavad tulemused: Valmistatud trükkplaat SiRFStar IV kiibi jaoks ja GPSi spetsifikatsioonidele vastavad täpsused.

Lähtetingimused: Kasutada on SiRFStar IV kiibid (nii eraldi kiip kui ka kiip koos planaarrantenniga) ja sellele vastav NMEA protokoll andmeid töötlev programm.

Lahendatavad küsimused: Kiibi trükkplaadi realisatsioon. GPSilt saadud NMEA formaadis andmete analüüs.

Kuupäev:
Üliõpilane:
Juhendaja:
Kinnitaja:

Allkiri:
Allkiri:
Allkiri:

GPS MOODULI REALISATSIOON JA ANALÜÜS SIRFSTAR IV KIIBI BAASIL

Annotatsioon

Töö eesmärgis on uurida positsioneerimissüsteemi GPS ja analüüsida SiRFStar IV kiibi baaseeruvat GPS süsteemi.

Olulisemaks eesmärgiks võib pidada GPS mooduli realisatsiooni ja seadme spetsifikatsioonidele vastavaid tulemusi.

Selles töös põhilised käsitletud probleemid on GPS süsteemid, selle integratsioon arvutiga ning nende tulemuste analüüsimine. Oluliseks probleemiks on ka tulemuste õige graafiline kujutamine.

Töö olulisemaks tulemuseks on reaalne GPS mooduli arendus ainult kiibi baasil. Peale positsioneerimise saab sellega ka veel anda teistele seadmetele vajalikku informatsiooni aja, positsiooni ja liikumise kohta.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 30 leheküljel, 3 peatükki, 9 joonist ja 3 tabelit.

THE REALIZATION AND ANALYSIS OF A GPS MODULE BASED ON THE SIRFSTAR IV CHIP

Annotation

The goal is to examine the Global Positioning System and analyze SiRFStar IV GPS chip in detail.

The most important objective are to put together and analyse a GPS module ja compare the result to the chip's specification requirements.

GPS systems, their integration with a computer and the analysis of the data are the main subjects of this thesis. It is also important to have it all graphically in different plots.

The main result of this thesis is to research and develop a gps module from a GPS chip. Also to have it outperform its specifications.

Jooniste nimekiri

Joonis 1. GPS Cockpit programm. [12]	12
Joonis 2. Maestro A2035-H ja TI ez430-Chronos(pildil protoplaadi teisel küljel)	13
Joonis 3. Maestro A2200-A ühenduste asetus (kiibi alt poolt vaadates)	14
Joonis 4. Maestro A2200-A trükkplaadi skeem [11].....	16
Joonis 5. Maestro A2200-A trükkplaadi 4 kihti Eagle programmis	17
Joonis 6. Maestro A2200-A GPS moodul koos antenni ja UART-USB konverteriga	18
Joonis 7. GlobalSat BU-353 mõõtetulemused.....	19
Joonis 8. Maestro A2035-H mõõtetulemused.	20
Joonis 9. Maestro A2200-A mõõtetulemused.....	21

Tabelite nimekiri

Tabel 1. GPS moodulid	10
Tabel 2. Maestro A2200-A ühenduste kirjeldused.....	15
Tabel 3. Mõõtmiste kokkuvõte.....	22

Sisukord

Autorideklaratsioon.....	2
Lõputöö ülesanne.....	3
Annotatsioon.....	4
Annotation.....	5
Jooniste nimekiri	6
Tabelite nimekiri.....	7
Sisukord	8
Sissejuhatus	9
Ülevaade.....	10
1.1 Riistvara	10
1.1.1 GPSide võrdlus.....	10
1.1.2 GPS mooduli antennid.....	11
1.2 Tarkvara.....	11
1.2.1 Ülevaade erinevatest GPS koordinaatrakendustest.....	11
1.2.2 Ülevaade erinevatest kaardirakendustest.....	12
Teostus	13
2.1 Ülevaade valitud seadmetest ja tarkvarast	13
2.2 Trükkplaadi projekteerimine programmis Eagle.....	16
2.3 Valmis produkt	18
Mõõtmised	19
3.1 Mõõtmiste algandmed	19
3.2 Mõõtetulemused.....	19
3.2.1 GlobalSat BU-353.....	19
3.2.2 Maestro A2035-H	20
3.2.3 Maestro A2200-A koos TW2010 antenniga	21
3.3 Mõõtmiste kokkuvõte	22
Järeldused.....	23
Kasutatud kirjandus.....	24
Lisad 1. R lähtekood.	25

Sissejuhatus

GPS (inglise keelsest lühendist Global Positioning System) on satelliitnavigatsiooni süsteem, mida arendatakse Ameerika Ühendriikide poolt. Täpse asukoha määramiseks on vaja vähemalt 4 satelliidi andmeid. GPS projekt algatati aastal 1973 ja täieliku kasutusvalmiduse saavutas 1995. aastal. Ühendriikide GPSile on tänapäeval vastu panna ka Venemaa GLONASS satelliitide programm, Euroopa GALILEO, Hiina Rahvavabariigi Compass Navigation System ja India Regional Navigational Satellite System (IRNSS), kuid need pole nii välja arenenud kui GPS. GPS konstellatsiooni kuulub praegu 32 satelliiti, mis asuvad umbes 20 200 km kõrgusel orbiidil. [1]

GPS satelliit saadab pidevalt väga suure täpsusega kellaaja, millal see sõnum välja saadeti, ja oma positsiooni taevas. Vastuvõtja kasutab neid andmeid, et kindlaks teha kaua võtab selle sõnumi kohale jõudmine ja arvutab vastuvõtja kauguse igast satelliidist teades valguse leviku kiirust. Iga arvutatud kaugus satelliidist tekitab teatud suurusega sfääri. Kasutades positsioneerimisvalemite [2] arvutatakse vastuvõtja asukoht ja muudetakse see NMEA standardeid kasutades mõistetavaks programmidele kujutades vastuvõtja asukohta kaardil või andes ruumikordinaadid.

GPS moodul ei paku ainult positsiooni, vaid sellel on veel teisigi võimalusi. PPS annab näiteks täpse elektrilise signaali kord sekundis ehk see võimaldas välistel seadmetel ennast ajastada GPSi satelliitide väga täpse aatomkella järgi. Selle täpsus võib olla alates 12st pikosekundist kuni paari mikrosekundini. [3] Peale PPSi on GPS moodulitel ka võimalus lisada erinevaid sensoreid – kiirendusandureid, inertsiaalandureid jne. Seda nimetatakse Dead-Reckoning süsteemiks, kus kasutatakse erinevaid andureid mooduli positsiooni ja kiiruse määramiseks, et abistada GPS moodulit ennast kehva tingimustega stsenaariumis.

Positsiooni täpsemaks määratlemiseks on tänapäeval võimalik kasutada ka keerukamaid GPS süsteeme nagu DGPS (Differential GPS) ja RTK (Real Time Kinematics), mis pakuvad reaajas positsiooni parandusvõimalusi. Selleks on ehitatud üle-eestiline GNSS püsijaamade võrk [4], mis saadab vastavale GPS seadmele oma parandusandmeid. Nii on võimalik GPS moodulil saavutada 10-20 cm täpsus oma positsioonis. Selliseid võimalusi kasutatakse peamiselt geodeesias ja ehituses, kus on tähtis saada võimalikult kindlaid tulemusi.

Iga GPS satelliit saadab oma andmeid kahel sagedusel – L1 (1575.42 Mhz) ja L2 (1227.60 Mhz). L1 sagedus on mõeldud tsiviilkasutamiseks ja on kättesaadav igale inimesele. L2 sagedus on mõeldud militaarkasutamiseks ning on krüpteeritud salajase W-koodiga, mida teab ainult Ameerika Ühendriikide militaariusused. Alates aastast 2000 lülitas USA välja S/A (Selective Availability), mis tehiskult lisas tsiviilkasutuses olevatele GPS signaalidele lisamüra, et ei oleks võimalik saavutada maksimaalset täpsust. See lülitati välja 2. Mail 2000. Tänu sellele langes GPS mooduli suhteline täpsus 100 meetrilt umbes 15 meetrile. [5]

Ülevaade

Järgnevalt tutvustatakse riistvara ja tarkvara, millele antud töös leitud lahendus põhineb ning nende põhjal hinnatakse valmiva süsteemi omadusi. Fookuses on peamiselt odavamad GPS moodulid ja tasuta tarkvara.

1.1 Riistvara

Selle lõputöö jaoks sai vaadatud erinevaid GPS mooduleid, mis oleksid võimalikult odavad, kuid samas kasutaksid viimase aja tehnoloogiaid, et saavutada maksimaalne täpsus. Selleks sai otsitud peamiselt Mouserist, Farnellist ja teistest suurtematest elektroonikaladudest erinevaid mooduleid. Põhikriteeriumiteks olid mooduli odavus, võimalikult suure täpsuse saavutamine, lisa võimaluste olemasolu (nt. Assisted-GPS), lihtne ühildatavus arvutiga, madal voolutarve.

1.1.1 GPSide võrdlus

Selleks, et leida GPS moodul millega saaks mõõtmisi läbi viia, sai koostatud tabel erinevatest GPS moodulitest, mida pakutakse peamistes elektroonikaladudes. Järgmisena on välja toodud tabel, kus on välja toodud valikusse jäänud seadmed.

	GlobalSat BU-353 [6]	Maestro A2035-H [7]	Fastrax UP501 [8]	Parallax 28506 [9]	UBLOX Neo-6P [10]	Maestro A2200-A [11]
Sagedus	L1 – 1 575 Mhz	L1 – 1 575 Mhz	L1 – 1 575 Mhz	L1 – 1 575 Mhz	L1 – 1 575 Mhz	L1 – 1 575 Mhz
Täpsused	10m (5m WAAS enabled)	2.5m (horisontaalne)	2.5m	10m	2.5m (< 1m koos SBAS + PPP)	2.5m
Tracking sensitivity	-159 dBm	-163 dBm	-165 dBm	-159 dBm	-160 dBm	-163 dBm
Navigation update rate	1 Hz	1 / 5 Hz	1 Hz kuni 10 Hz	1 Hz	1 Hz kuni 5 Hz	1 Hz kuni 5 Hz
Antenna	Planaarantenn	Planaarantenn	Planaarantenn	Väline passiivantenn	puudub	puudub
Time to First Fix	45 s	35 s	34 s	47 s	32 s	35 s
Ühenduvus	USB	UART, SPI	UART	UART	UART, USB, DDC, SPI	UART, SPI
GPS protokoll	NMEA	NMEA, OSP	NMEA	NMEA, Smart mode	NMEA, UBX binary	NMEA, OSP

Tabel 1. GPS moodulid

Valikusse jäänud GPSid on enamasti väikese planaarantenniga varustatud moodulid, kus on välja toodud UART või USB viad lihtsaks andmevahetuseks arvutiga. Enamus neist on mõeldud GPSi testimiseks ja valideerimiseks.

1.1.2 GPS mooduli antennid

Enamus valikusse jäänud GPSidest omavad planaarrantenni, mis on küllaltki keeva võimendusega. Nende plussiks on antenni mõõtmed ja lihtsus. Kui kasutatakse GPS moodulit välitingimustes, kus on taevast otse nähtav, siis planaarrantenniga GPS moodul on piisav. Kuid kui on vaja kasutada GPSi sisetingimustes (näiteks autos, majas jne), siis on vajalik kasutada eraldi seisvat antenni. On olemas nii passiiv kui ka aktiiv GPS antennid. Passiivantenni eelis on see, et see ei vaja eraldi toidet antennis, kuid samas on antenni juhtme pikkus limiteeritud ühe meetriga. Aktiivantennil on sisse ehitatud signaalivõimendi, mis pikendab antenni juhtme pikkust märgatavalt. See võimaldab asetada antenni GPS moodulist eemale ja kohtadele, kus on parem nähtavus GPS satelliitidega.

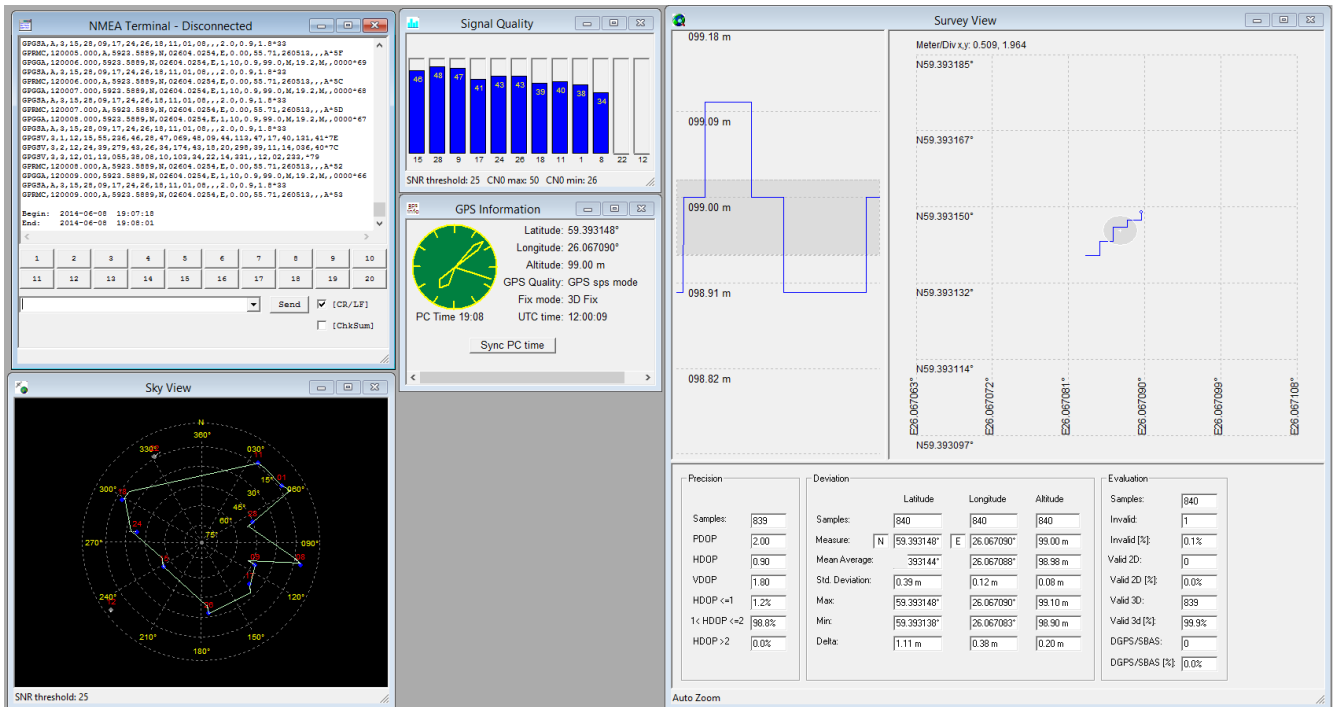
1.2 Tarkvara

Järgmisena on välja toodud põhilised vabavaralised GPS tarkvararakendused. Põhiliselt saab neid kategoriseerida kahte gruppi – koordinaatrakendused ja kaardirakendused. Koordinaatrakenduse puhul on tegemist tavaliselt NMEA protokollide lugemise programmiga, mis arvutab põhilised statistilised parameetrid iseloomustamaks GPS mooduli võimekust. Kaardirakendus ei võimalda enamasti nii põhjalikku analüüsi, vaid annab reaajas GPSi asukohti kaardil. Mõlemal on omad eelised vastavalt GPSi kasutamise eesmärgile.

1.2.1 Ülevaade erinevatest GPS koordinaatrakendustest.

Internetis leidub väga palju erinevaid lahendusi NMEA protokollide jaoks. Enamus neist on mõeldud lugema NMEA koodi reaajas otse GPSilt kasutades selleks arvuti seriaalühendust. Põhilised osad programmis on NMEA terminal, signaali kvaliteedi aken, vaatlusaken (, kus on kõik statistilised näitajad GPSi positsiooni kohta) ja taevavaate aken(, kus näeb hetkel GPSile nähtavaid GNSS satelliite). Selline rakendus ongi just mõeldud rohkem GPSi testimiseks, mitte niivõrd navigeerimiseks ja lokeerimiseks.

Proovides erinevaid programme, kõige parem erinevate GPSi testimiseks on GPSCockpit. [12] See on arendatud Maestro Wireless Solution ettevõtte poolt, kes valmistab ise erinevaid GPS mooduleid. Selle programmiga saab lüüa, uuesti mängida ja monitoorida kõiki NMEA formaadis GPS faile. GPSCockpit annab hea graafilise ja statistilise ülevaate GPSi täpsusest ja satelliitide olukorrast. See programm võimaldab saata ka sõnumeid GPS moodulile NMEA formaadis, näiteks kui on vaja sisse lülitada DGPS või mõni teine täpsust parandav featuur.



Joonis 1. GPS Cockpit programm. [12]

1.2.2 Ülevaade erinevatest kaardirakendustest

Kui on vajadus kaardirakendus järgi, siis on keerulisem leida vabavaralist GPS programmi, kus oleks olemas ka viimase versiooni kaardiuuendused. Üks variantidest on gpsVP, mis on mõeldud nutitelefonide, PDAd ja arvutite jaoks. [13] See kasutab OpenStreetMap kaarte ning toetab NMEA protokollil töötavaid GPSe. Selle programmi peamine eesmärk on navigatsioon ja positsioneerimine. Programm ei võimalda kuvada nii põhjalikke statistilisi kalkulasioone kui GPSCockpit. Seda vabavaralist tarkvara on hea kasutada kui on vajadus pidevalt liikuda ja teada liikumiskiirust, suunda, distantsti, lühimat teed, läbitud teed jne. See programm võimaldab ka kasutada Maa-ameti ametliku WMS teenust, mis võimaldab kasutada Maa-ameti aluskaarte.

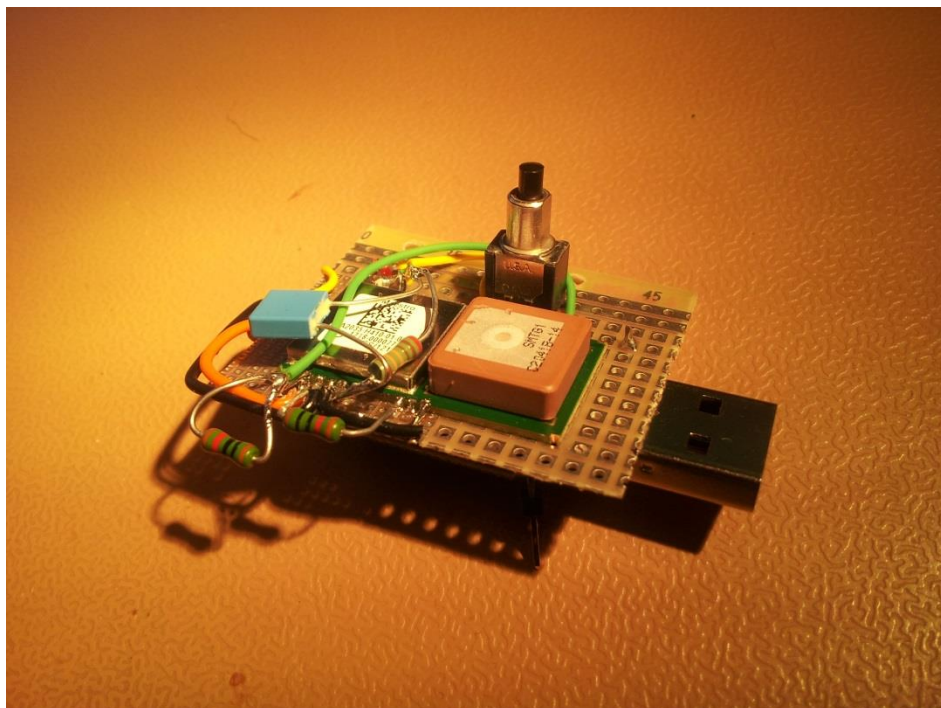
Teostus

Testimiseks oli valitud 3 erinevat GPS moodulit, millega sai tehtud mõõtmisi. GPSidest jäi sõelale GlobalSat BU-353, Maestro A2035-H ja Maestro A2200-H moodulid. Kaks esimest on planaarrantenniga ja A2200-H on kiibi kujul. Sellele on vaja juurde teha nii trükkplaat kui ka valida vastav GPS antenn.

2.1 Ülevaade valitud seadmetest ja tarkvarast

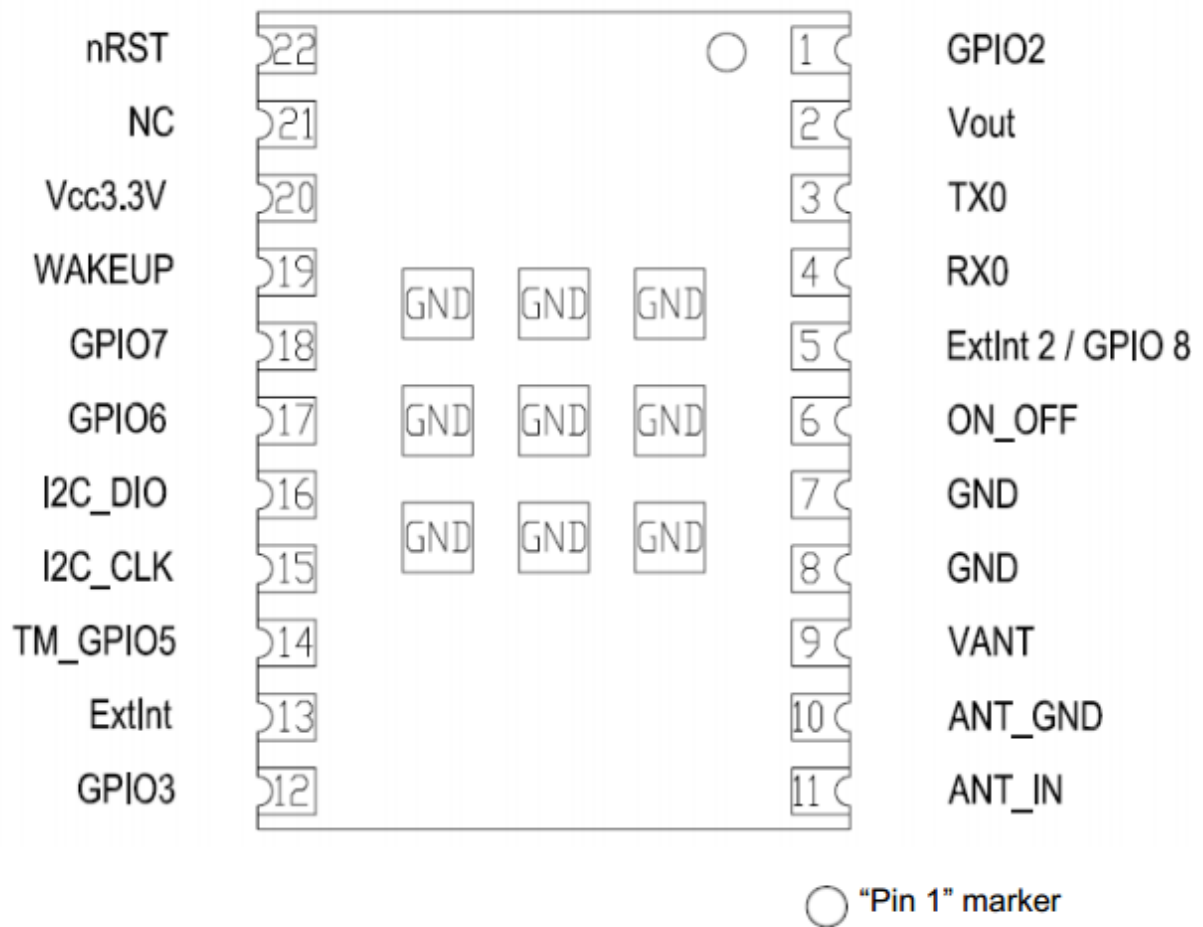
Nagu eelmainitud, testimiseks osutus 3 erinevat GPS moodulit. Kaks neist on koos antenniga ning on vaja ainult arvutiga ühendada, et saaks alustada mõõtmistega. Maestro A2200-A on ainult GPS kiip ning sellele tuleb leida sobiv antenn ning valmistada vastav trükkplaat. GlobalSat BU-353 on juba kõik-ühes GPS ning töötab koheselt karbist välja võttes. Selle seadmega ei pidanud mingeid lisaseadistusi tegema.

Kuna Maestro A2035-H moodulil on ainult UART liides, siis peab selle ümber muutma, et arvuti oleks suuteline GPSilt tulevaid sõnumeid saada. Selleks sai ühendatud GPS moodul TI eZ430-Chronos debugging seadmega, mis konverteeris UART kommunikatsiooni üle USB peale.



Joonis 2. Maestro A2035-H ja TI eZ430-Chronos(pildil protoplaadi teisel küljel)

Maestro A2200-A kujutub endast ainult ühte kiipi ning vajab seepärast eraldi antenni ja trükkplaati kuhu seda kõike asetada. Selleks sai valmistatud Eagle tarkvara Maestro A2200-A moodulile vastav joonis. Kuid enne seda pidi tutvuma A2200-A enda joonistega.



Joonis 3. Maestro A2200-A ühenduste asetus (kiibi alt poolt vaadates)

Muidugi on vaja teada ka, mida iga signaal endast tähendab. Selleks on signaalide tabel.

Pin	Symbol	Function	Description
1	GPIO2	Input/Output	Leave open
2	Vout	Voltage output	Permanent 1.8V voltage output for up to 20mA current max.
3	TX0 SPI DO	Output	Serial output 0, NMEA out if configured for UART SPI data out pin when module works in SPI mode
4	RX0 SPI DI	Input	Serial input 0, NMEA in if configured for UART SPI data in pin when module works in SPI mode
5	ExtInt 2/GPIO8	Input	Interrupt input 2 (If ExtInt 2 is not going to be used, it is recommended that this pin be tied directly to ground. Otherwise, a 100K pull-down resistor to ground should be connected to the ExtInt 2 pin.)
6	ON_OFF	Input	Connect to push-pull output! This is mandatory! - Set to LOW by default - Toggle to HIGH and back to LOW - for first start-up after power on - to request a fix in SiRFaware™ or PTF mode - to go into or wake up out of hibernate mode
7	GND	Power Supply	Ground (power supply)
8	GND	Power Supply	Ground (power supply)
9	VANT	Antenna Supply Voltage Input	Power supply input for external active antenna – provide according voltage (up to 5.0 VDC) – switched internally
10	ANT_GND	RF GND	Antenna Ground
11	ANT_IN	Antenna Input	Antenna signal / Z=50 Ohm (antenna input) – must not exceed 30dB gain including cable loss
12	GPIO3	Input/Output	Leave open
13	ExtInt	Input/Output	Interrupt input for MEMS interface
14	TM_GPIO5	Output	Time Mark – 1PPS signal
15	I2C CLK	Input	I2C clock input for MEMS interface
16	I2C DIO	Input/Output	I2C I/O for MEMS interface
17	GPIO6 SPI CLK	Input	Configuration pin to run in UART mode (10k pull-up to 1.8V, e.g. to Vout, pin 2) SPI clock pin when module works in SPI mode
18	GPIO7 SPI CS	Input	Unused configuration pin – reserved for future use, leave open SPI chip select pin when module works in SPI mode
19	WAKEUP	Output	Status of digital section, Push-Pull output Low = OFF, KA (Keep Alive)-only, Hibernate, or Standby mode High = ON, operational mode
20	Vcc	Power Supply	3.0 – 3.6 VDC (power supply)
21	NC	None	Leave open
22	nRST	Input	Reset input (open / HIGH – no reset, LOW - reset) Connect to open collector / open drain output!

Table 4: Pin description A2200-A

Tabel 2. Maestro A2200-A ühenduste kirjeldused.

Kuna Maestro A2200-A puhul ei tulnud kaasa antenni, oli vaja ka antenn valida. Nagu varem mainitud on GPS antenn nii passiivsed kui ka aktiivseid. Nendeks katseteks on valitud Tallysman TW2010 Magnet Mount GPS L1 Antenna [14]. Tegemist on aktiivantenniga, mis on mõeldud professionaalseks kasutamiseks, kus on vajadus suure täpsuse järgi. Antenn on suure võimendusega – 28 dB ja pakub kaitset erinevate signaale segavate mürade eest.

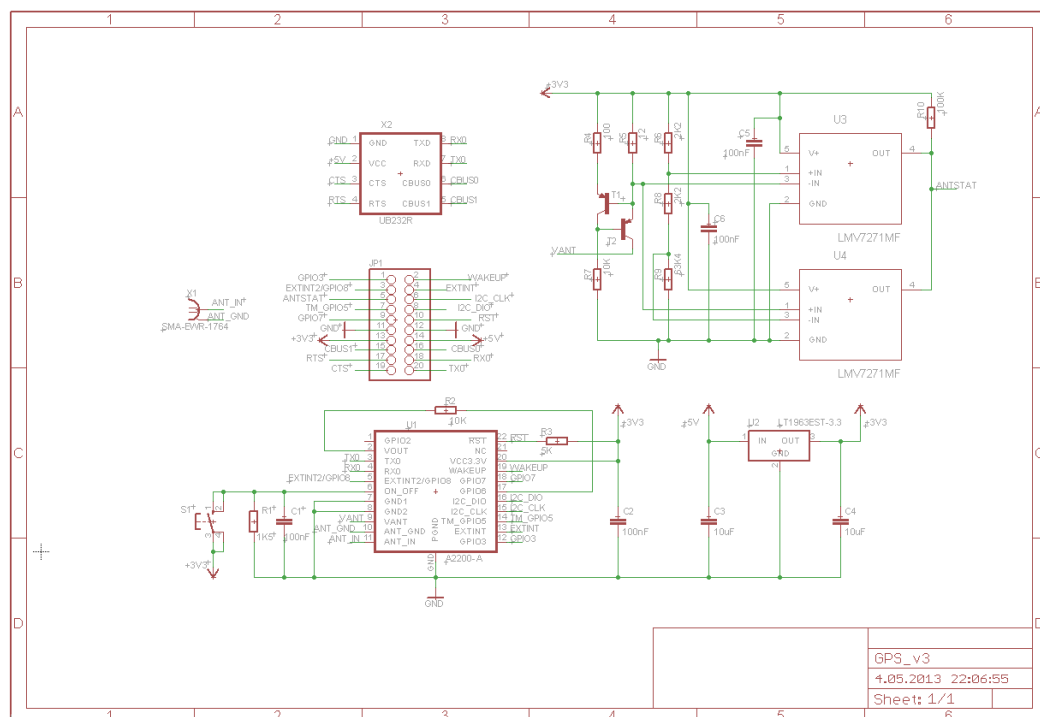
Vajadus oli ka USB ühenduse järgi. Kuna A2200-A pakub kommunikatsiooniks UART ja SPI liidest, siis sai sellest esimene valitud, kuid oli vaja ka lisada UART-USB konverter. Selleks sai valitud FTDI UB232R [15] arendusmoodul, mis pakub lihtsat võimalust konverteerida UART USB jaoks vajalikku formaati. Peale selle vajab GPS kiip ka voolu, mille saab see USB ühenduselt. Selleks on vaja konverteerida USB 5V tase GPSi jaoks vajalikku 3.3V peale. See on lahendatud LDOga. Valitud osutus Linear Technology LT1963EST-3.3 komponent.

2.2 Trükkplaadi projekteerimine programmis Eagle.

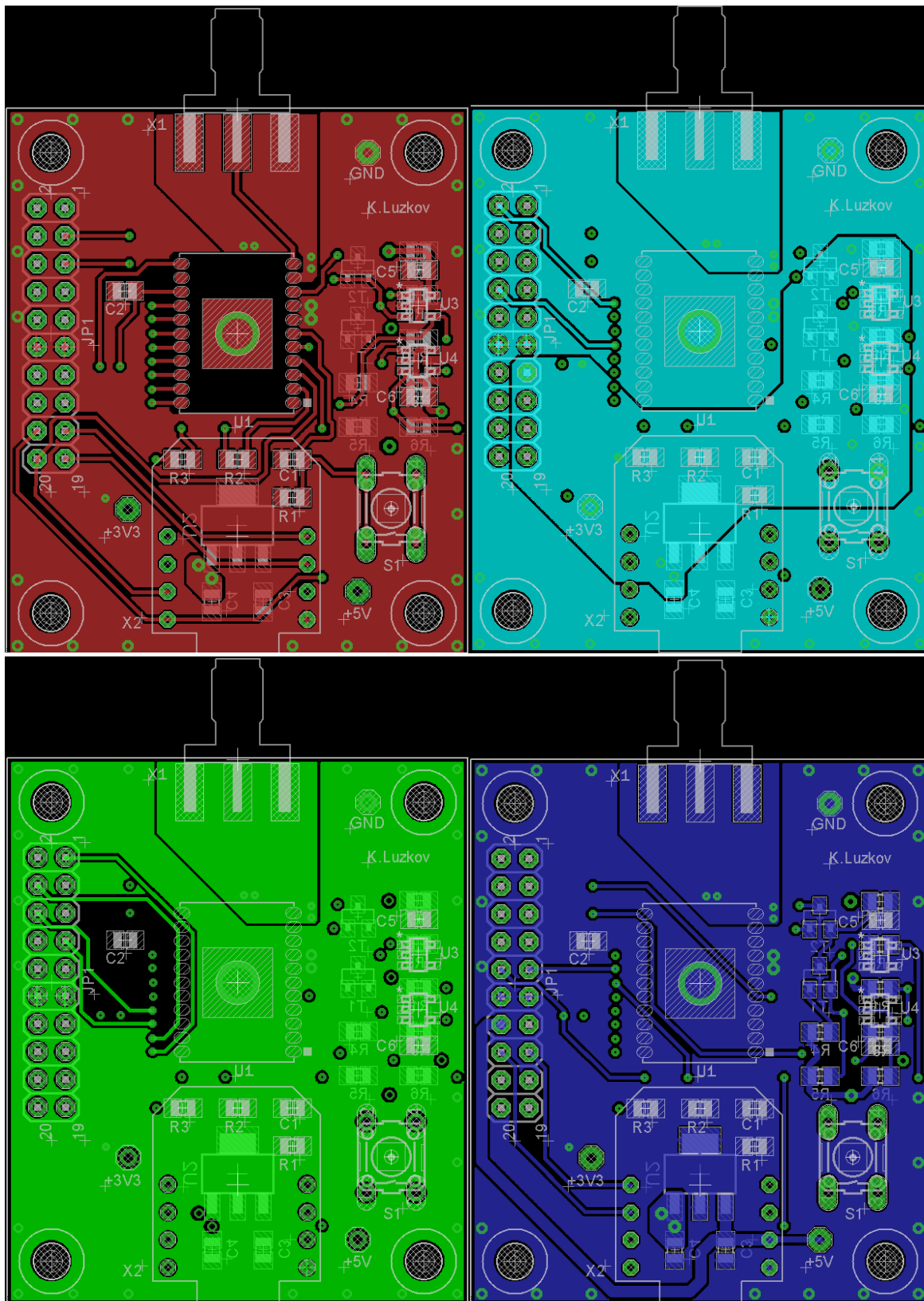
Maestro A2200-A kiibile sai valmistatud vastav trükkplaat Eagle programmis kasutades juhiseid dokumentatsioonist [11]. Trükkplaadil on veel 16 ühendusega pistik, mis on mõeldud lisaseadmete jaoks, kui peaks olema vajadus ühendama kiirendusandureid või saata PPS signaali teise seadmesse.

Trükkplaadil on realiseeritud ka voolu piirav skeem aktiivantenni jaoks. Kuna maksimaalne pinge aktiivantennile võib olla 5V ja vool 50 mA, siis on vaja piirata voolu. Lisaks sellele on komparaatorite baasil ehitatud ANTSTAT väljund signaal, mis näitab, kas on ühendatud aktiivantenn või mitte.

ANTSTAT väljundis on loogiline madalväärtus, kui antenni voolutarve on väiksem kui 9 mA või suurem kui 16 mA. Samas väljundis on aga loogiline kõrgväärtus, kui antenni voolutarve on 9 mA ja 16 mA vahel. See tähendab, et antenni pesaga on ühendatud aktiivantenn, mis vajab voolu, et töödada.



Joonis 4. Maestro A2200-A trükkplaadi skeem [11]



Joonis 5. Maestro A2200-A trükkpladi 4 kihti Eagle programmis

2.3 Valmis produkt

Trükkplaat on valmistatud Brandner OÜ poolt. Kui kõik komponendid sai peale joodetud, sai tehtud visuaalne kontroll, et kõik oleks trükkplaadil õigesti ja õiget pidi. Lüliti on selleks, et kiibile saata lühike ON/OFF impulss, et hakkaks saata positsiooni infot arvutile. Igas nurgas on M4 metallikruvi jaoks vajalik kinnituskoht, kui on vajadus trükkplaat kinnitada aluse peale.



Joonis 6. Maestro A2200-A GPS moodul koos anteni ja UART-USB konverteriga

Mõõtmised

3.1 Mõõtmiste algandmed

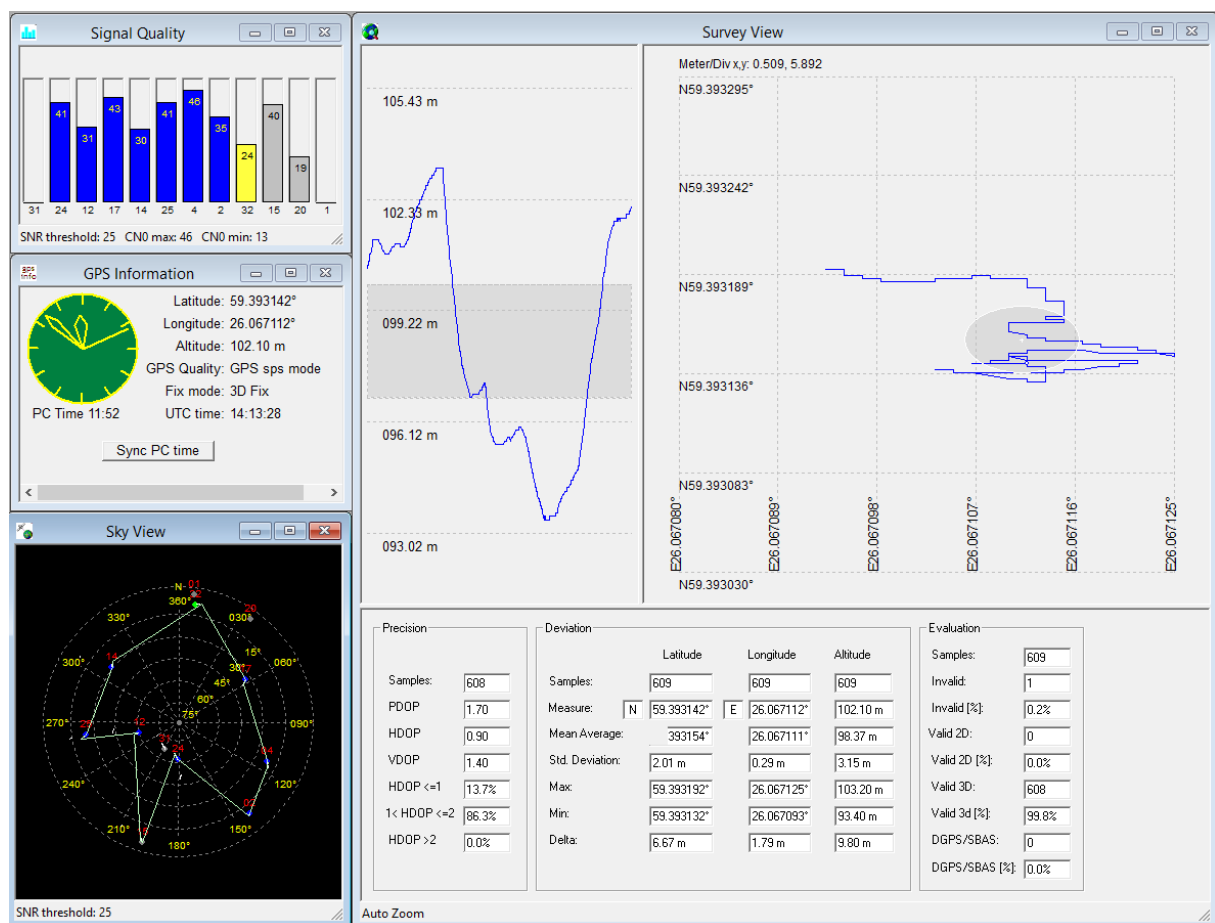
Kõik mõõtmised sai tehtud ühes kohas, kus taevas oli näha terves ulatuses. GPSid asetsevad maast umbes 1m kõrgusel staatilistelt. Mõõtmistega alustati pärast kahe minutilist soojendusperioodi, et GPSid leida kõik vajalikud satelliidid taevast ja arvutada täpse asukoha. Pärast seda lasti igal GPSil andmeid edastada 10 minutit. Kõik arvutused on tehtud GPSilt saadud info põhjal ja toodud välja eraldi lisana selles töös.

Mõõtmisteks kasutati kõiki kolme GPSi – GlobalSat BU-353, Maestro A2035-H ja Maestro A2200-A koos TW2010 antenniga. GPSide asukohaks oli 59.393135 N, 26.067119 E.

Mõõtmiste lindistamiseks ja analüüsimiseks kasutati GPSCockpit programmi. Sellel programmil on hea graafiline liides, mis võimaldab saada hea ülevaate GPSi võimekusest.

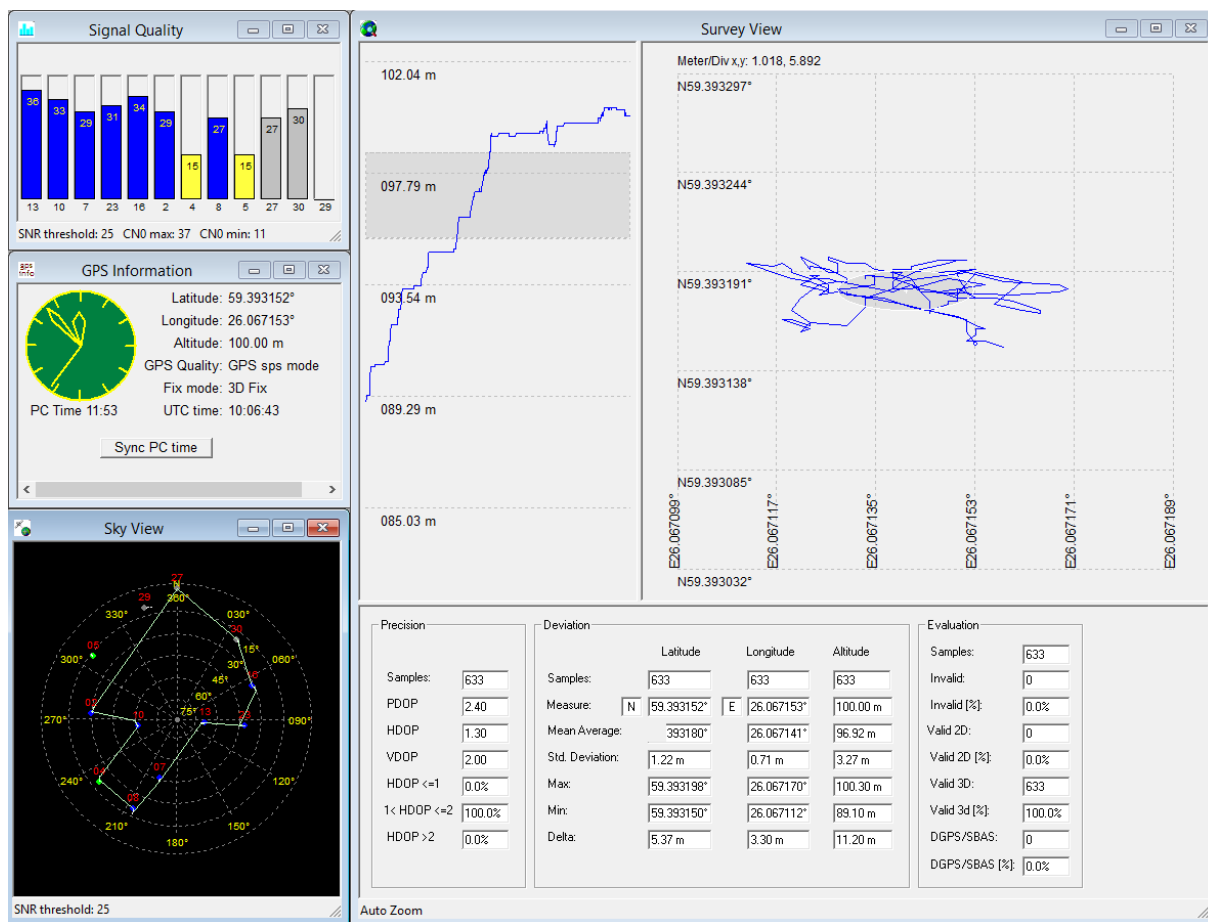
3.2 Mõõtetulemused

3.2.1 GlobalSat BU-353



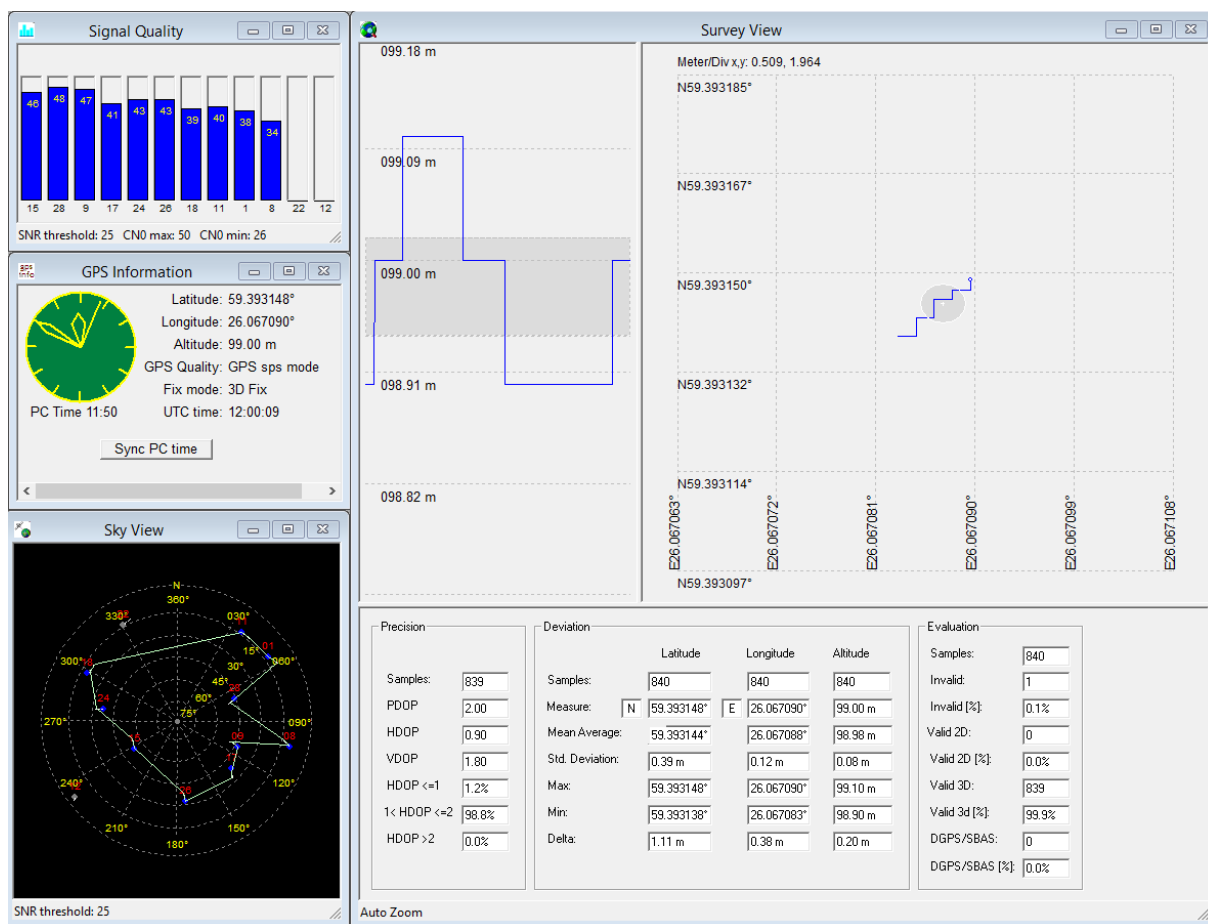
Joonis 7. GlobalSat BU-353 mõõtetulemused

3.2.2 Maestro A2035-H



Joonis 8. Maestro A2035-H mõõtetulemused.

3.2.3 Maestro A2200-A koos TW2010 antenniga.



Joonis 9. Maestro A2200-A mõõtetulemused

3.3 Mõõtmiste kokkuvõte

Kõik mõõtmised olid edukad ja näitasid väga hästi GPSi võimekust. Kohe on tulemustes näha ka suurt täpsuse erinevust. Maestro A2200-A koos TW2010 antenniga oli palju täpsem kui teised kaks GPSi ning see on muidugi ka arusaadavam kuna antenni signaalivõimendus ja ülesehitus mängib positsioneerimises väga suurt rolli.

	Täpsus (tootja poolne)	Täpsus (mõõdetud)	Standardhälve (Põhjalahust / Idapikkust)	Peak-to-Peak väärtused	Peak-to-peak väärtus (Kõrgus)	Standardhälve (Kõrgus)	Keskvaartuse absoluutne viga
GlobalSat BU-353	10 m	~ 2 m	2.01 m / 0.29 m	6.67 m / 1.79 m	9.80 m	3.15 m	~2 m
Maestro A2035-H	2.5 m	~ 1.2 m	1.22 m / 0.71 m	5.37 m / 3.30 m	11.20 m	3.27 m	~3 m
Maestro A2200-A	2.5 m	~ 0.4 m	0.39 m / 0.12 m	1.11 m / 0.38 m	0.20 m	0.08 m	~0.5 m

Tabel 3. Mõõtmiste kokkuvõte

Kõikide GPSide spetsifikatsioonid vastavad nende mõõtmiste tulemuste põhjal praktiliste mõõtmistega. Siinkohas peab muidugi mainima, et tegemist oli staatiliste, suhteliselt pikaajaliste mõõtmistega, kus polnud mingisuguseid takistavaid asjaolusi GPS sateliidi ja vastuvõtja vahel.

Teades täpset asukohta Google Maps kaardi peal, kus sai mõõtmisi läbi viidud, siis saab arvutada ka absoluutse täpsuse. See korreleerub mingil määral mõõdetud standardhälvetega, kuid esineb suhteliselt suur veamäär. Siin pakkus ka kõige täpsemat tulemust Maestro A2200-A koos oma TW2010 aktiivantenniga.

Kõik tulemused sai üle kontrollitud programmis R, mis on statistilise programmeerimise keel. Tulemused tulid samad, kuid tulemuste näitamine on parem GPS Cockpitis. Lähtekoodi on võimalik näha ka lisana töö lõpus.

Järeldused

Globaalne positsioneerimissüsteem on saanud täiesti loomulikuks osaks inimese igapäeva elus. GPS mooduleid leidub nii autodes, laevades, lennukites, droonides, telefonides ja isegi matkariietes. Tehnoloogia areng on aidanud palju kaasa GPSide täpsuse paranemiseks. Lisaks sellele on veel suur faktor teiste globaalsete positsioneerimise süsteemide välja arendamine nagu Venemaa GLONASS, Euroopa GALILEO, India IRNSS ja Hiina Beidou-2. Kindlasti suureks mõjutuseks jääb alati ka GPSide militaartähtsus.

Saadaval on väga erinevate mõõtmete ja otstarvetega GPS mooduleid. Selleks tööks sai valitud odavama poolsed GPSid, mis on laialt kasutatud üle maailma. Kahel valitud GPSil on sisse ehitatud planaarrantenn ning kolmandal GPSil pidi koostama ise trükkplaadi kiibi jaoks ning sobitama vastavalt ka antenni.

Mõõtmised võib lugeda õnnestunuks ning need portreerisid spetsifikatsioonidele vastavaid tulemusi. Kõige paremini toimis Maestro A2200-H koos eraldiseisva TW2010 aktiivantenniga. Positsioneerimise täpsuse parandamiseks on vajalik, et GPSil oleks otsenähtavus GPS satelliitidega.

Järgmiste ülesannetena näen NMEA protokollil asemel kasutada binaarset formaati, mis edastab arvutile toorandmeid. Neid analüüsides saaks parema ülevaate, kuidas arendada odavaid GPS-lahendusi. Teine võimalus on proovida diferentsiaalset GPS kui kasutada mitut sarnast GPS moodulit sama aegselt (üks nendest käituks baasjaamana) ja analüüsida tulemusi.

Tahan tänada oma juhendajat Olev Märtenit minu juhendamise ja õpetamise eest. Tänu temale oli võimalik see lõputöö lõpuni viia.

Kasutatud kirjandus

1. <http://et.wikipedia.org/wiki/GPS>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Navigation_equations
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_per_second
4. <http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Geodeetilised-andmed/Geodeetilised-vorgud/GNSS-pusijaamad-p288.html>
5. http://www.u-blox.com/images/stories/Resources/gps_compendiumgps-x-02007.pdf
6. http://www.usglobalsat.com/store/download/62/bu353_ds_ug.pdf
7. <http://www.maestro-wireless.com/download-dp26>
8. <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/UP501.pdf>
9. <http://www.mouser.com/ds/2/321/28506-VPN1513GPSReceiverModule-v1.3-197332.pdf>
10. http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf
11. <http://www.maestro-wireless.com/download-dp19>
12. <http://www.maestro-wireless.com/gps-cockpit>
13. <https://code.google.com/p/gpsvp/>
14. <http://www.tallysman.com/downloads/TW2010-Datasheet.pdf>
15. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_UB232R.pdf

Lisad 1. R lähtekood.

```
require(ggplot2)
require(reshape)
libs <- c('ggplot2', 'latticeExtra', 'gridExtra', 'MASS',
         'colorspace', 'plyr', 'Hmisc', 'scales')
lapply(libs, require, character.only = T)

xdata = read.table ( "C:/Users/Kristjan/Dropbox/R/GPS/test3_10min.txt", sep =",", fill= TRUE)

xdat= (as.matrix (xdata))

number_of_records = (dim (xdata))[1]
number_of_fields = (dim (xdata))[2]

txt1cnt= 0
txt1="$GPGGA"
for (kk in (1:number_of_records)) # all records processed
{
  if (xdat[kk, 1]==txt1)
  {
    txt1cnt= txt1cnt+1;
  }
}

N1 =rep (NA, txt1cnt)
E1 =rep (NA, txt1cnt)
H =rep (NA, txt1cnt)

txt1cnt= 0
txt1="$GPGGA"
for (kk in (1:number_of_records)) # all records processed
{
  if (xdat[kk, 1]==txt1)
  {
    txt1cnt= txt1cnt+1;

    N1[txt1cnt]= as.numeric (xdat[kk, 3]) ## +N
    E1[txt1cnt]= as.numeric (xdat[kk, 5]) ## +E
    H[txt1cnt]= as.numeric (xdat[kk, 10]) ## +H
  }
}

Grupp_cnt = as.integer(txt1cnt/30)+1

N_values = matrix (, Grupp_cnt, 30)
E_values = matrix (, Grupp_cnt, 30)
```

```

H_values = matrix (, Grupp_cnt, 30)

GGAccount = 1
grupp = 1

for (ll in (1:txt1cnt))
{

N_values[grupp, GGAccount] = (N1[ll])
E_values[grupp, GGAccount] = (E1[ll])
H_values[grupp, GGAccount] = (H[ll])
GGAccount = GGAccount+1

if (GGAccount==31)
{
GGAccount = 1
grupp = grupp+1
}
}

N_mean = matrix (, Grupp_cnt, 1)
N_sd = matrix (, Grupp_cnt, 1)
N_pp = matrix (, Grupp_cnt, 1)

E_mean = matrix (, Grupp_cnt, 1)
E_sd = matrix (, Grupp_cnt, 1)
E_pp = matrix (, Grupp_cnt, 1)

H_mean = matrix (, Grupp_cnt, 1)
H_sd = matrix (, Grupp_cnt, 1)
H_pp = matrix (, Grupp_cnt, 1)

for( mm in (1:Grupp_cnt))
{
N_mean[mm, 1] = mean(N_values[mm,])
N_sd[mm, 1] = sd(N_values[mm,])
N_pp[mm, 1] = max(N_values[mm,])-min(N_values[mm,])

E_mean[mm, 1] = mean(E_values[mm,])
E_sd[mm, 1] = sd(E_values[mm,])
E_pp[mm, 1] = max(E_values[mm,])-min(E_values[mm,])

H_mean[mm, 1] = mean(H_values[mm,])
H_sd[mm, 1] = sd(H_values[mm,])
H_pp[mm, 1] = max(H_values[mm,])-min(H_values[mm,])
}

N_mv <- c(N_mean)

```

```
E_mv <- c(E_mean)
H_mv <- c(H_mean)
```

```
N_sdv <- c(N_sd)
E_sdv <- c(E_sd)
H_sdv <- c(H_sd)
```

```
N_ppv <- c(N_pp)
E_ppv <- c(E_pp)
H_ppv <- c(H_pp)
```

```
stat.data <- data.frame(N_mv, E_mv, H_mv, N_sdv, E_sdv, H_sdv, N_ppv, E_ppv, H_ppv)
```

```
N_mv_l = NA
E_mv_l = NA
H_mv_l = NA
```

```
bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
  N_mv_l[bb]<-N_mv[aa]
  bb=bb+30
}
```

```
bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
  E_mv_l[bb]<-E_mv[aa]
  bb=bb+30
}
```

```
bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
  H_mv_l[bb]<-H_mv[aa]
  bb=bb+30
}
```

```
## Graafik 1 - tavaväärtused, keskväärtused
```

```
df.g1.1 <- data.frame(time1 = 1:txt1cnt, "Tavaväärtus" = N1, Keskväärtus = N_mv_l)
df.g1.1 <- melt(df.g1.1, id = 'time1', variable_name = 'series', na.rm = TRUE)
```

```
df.g1.2 <- data.frame(time1 = 1:txt1cnt, "Tavaväärtus" = E1, Keskväärtus = E_mv_l)
df.g1.2 <- melt(df.g1.2, id = 'time1', variable_name = 'series', na.rm = TRUE)
```

```
df.g1.3 <- data.frame(time1 = 1:txt1cnt, "Tavaväärtus" = H, Keskväärtus = H_mv_l)
df.g1.3 <- melt(df.g1.3, id = 'time1', variable_name = 'series', na.rm = TRUE)
```

```

plot1.1<-ggplot(df.g1.1, aes(time1,value)) + geom_line(aes(colour = series)) + ggtitle("N-telg")
plot1.2<-ggplot(df.g1.2, aes(time1,value)) + geom_line(aes(colour = series)) + ggtitle("E-telg")
plot1.3<-ggplot(df.g1.3, aes(time1,value)) + geom_line(aes(colour = series)) + ggtitle("Körgus")

print(plot1.1)

windows()
print(plot1.2)
windows()
print(plot1.3)

## Graafik 2 - P-P

N_ppv_l = NA
E_ppv_l = NA
H_ppv_l = NA

bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
N_ppv_l[bb]<-N_ppv[aa]
bb=bb+30
}

bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
E_ppv_l[bb]<-E_ppv[aa]
bb=bb+30
}

bb=3
for(aa in (1:Grupp_cnt))
{
H_ppv_l[bb]<-H_ppv[aa]
bb=bb+30
}

time1 = 1:txt1cnt

windows()

df.g2.1 <- data.frame(time1 = 1:txt1cnt, "E-telg" = E_ppv_l, "N-telg" = N_ppv_l)
df.g2.1 <- melt(df.g2.1, id = 'time1', variable_name = 'series', na.rm = TRUE)
plot2.1<-ggplot(df.g2.1, aes(time1,value)) + geom_line(aes(colour = series)) + ggtitle("Peak-to-peak N
ja E telg")
print(plot2.1)

windows()

```

```
df.g2.2 <- data.frame(time1 = 1:txt1cnt, "H-telg" = H_ppv_l)
df.g2.2 <- melt(df.g2.2, id = 'time1', variable_name = 'series', na.rm = TRUE)
plot2.2 <- ggplot(df.g2.2, aes(time1, value)) + geom_line(aes(colour = series)) + ggtitle("Kõrguse Peak-
to-Peak väärtused")
print(plot2.2)
```

```
##Graafik 3 - Regression line, Rsquared
```

```
windows()
```

```
df.r <- data.frame(aeg = 1:txt1cnt, N1, E1, H)
```

```
scatter.latticeN1 <- xyplot(N1 ~ aeg,
  data = df.r, type="l",
  panel = function(x, y, ...) {
    panel.xyplot(x, y, ...)
    lm1 <- lm(y ~ x)
    lm1sum <- summary(lm1)
    sd1 <- sd(N1)
    r2 <- lm1sum$adj.r.squared
    panel.abline(a = lm1$coefficients[1],
      b = lm1$coefficients[2])
    panel.text(labels =
      bquote(italic(R)^2 ==
        .(format(r2,
          digits = 3))),
      x = 500, y = 5923.592)
    panel.text(labels =
      bquote(italic(SD) ==
        .(format(sd1,
          digits = 3))),
      x = 500, y = 5923.591)
  },
  xscale.components = xscale.components.subticks,
  yscale.components = yscale.components.subticks,
  as.table = TRUE)
```

```
print(scatter.latticeN1)
```

```
windows()
```

```
scatter.latticeE1 <- xyplot(E1 ~ aeg,
  data = df.r, type="l",
  panel = function(x, y, ...) {
    panel.xyplot(x, y, ...)
    lm1 <- lm(y ~ x)
    lm1sum <- summary(lm1)
    sd1 <- sd(E1)
    r2 <- lm1sum$adj.r.squared
    panel.abline(a = lm1$coefficients[1],
      b = lm1$coefficients[2])
    panel.text(labels =
      bquote(italic(R)^2 ==
        .(format(r2,
```

```

        digits = 3))),
    x = 500, y = 2604.027)
    panel.text(labels =
      bquote(italic(SD) ==
        .(format(sd1,
          digits = 3))),
    x = 500, y = 2604.026)
  },
  xscale.components = xscale.components.subticks,
  yscale.components = yscale.components.subticks,
  as.table = TRUE)

print(scatter.latticeE1)

windows()
scatter.latticeH <- xyplot(H ~ aeg,
  data = df.r, type="l",
  panel = function(x, y, ...) {
    panel.xyplot(x, y, ...)
    lm1 <- lm(y ~ x)
    lm1sum <- summary(lm1)
    sd1 <- sd(H)
    r2 <- lm1sum$adj.r.squared
    panel.abline(a = lm1$coefficients[1],
      b = lm1$coefficients[2])
    panel.text(labels =
      bquote(italic(R)^2 ==
        .(format(r2,
          digits = 3))),
    x = 500, y = 102)
    panel.text(labels =
      bquote(italic(SD) ==
        .(format(sd1,
          digits = 3))),
    x = 500, y = 101)
  },
  xscale.components = xscale.components.subticks,
  yscale.components = yscale.components.subticks,
  as.table = TRUE)

print(scatter.latticeH)

```