

Jukka Hokkanen

PAIKANNUS ND-100S GPS- VASTAANOTTIMELLA

Opinnäytetyö
Tietotekniikka


Toukokuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä	
Tekijä(t)		Koulutusohjelma ja suuntautuminen	
Jukka Hokkanen		Tietotekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Paikannus ND-100S GPS-vastaanottimella.			
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena on testata tietokoneeseen liitettävän ND-100S GPS-vastaanottimen toimintaa ja tarkkuutta. Lisäksi on tarkoitus esitellä GPS-järjestelmän toimintaa aina sen käyttöön soveltuvista vastaanottimista järjestelmää vaivaaviin virhelähteisiin. GPS-järjestelmän lisäksi paneudun hieman muihinkin satelliittipaikannusmenetelmiin. GPS-vastaanottimen toimintaan liittyen kerron lähinnä vastaanottimen sisältämästä SiRF Star III-mikrosirusta, jonka tehtävänä on suorittaa paikannuksessa tarvittavat laskutoimitukset. GPS-vastaanottimen testausta varten latsin verkosta ilmaisohjelman nimeltä VisualGPS. Ohjelmalla saadaan kerättyä runsaasti tietoa paikantimen vastaanottamasta signaalista, jota voidaan myöhemmin tarkastella tarkemmin. Haluttaessa ohjelma tallentaa NMEA-dataa, joka on paikannustekniikan yleiskieli ja sitä voidaan purkaa visuaaliseen muotoon eri ohjelmilla. Suoritin vastaanottimella tarkkuutta arvioivia mittauksia ja VisualGPS-ohjelman avulla tarkastelin tuloksia. Tulosten pohjalta pohdiskelin, mitkä seikat vaikuttivat mittaustulosten tarkkuuteen. Verkosta löytävän karttapalvelun avulla selvitin mittauspaiikkani sijainnin ja vertailin sitä mittaustuloksiin.			
Asiasanat (avainsanat) Satelliittipaikannus, koordinaatit, NMEA			
Sivumäärä	Kieli	URN	
33+3	Suomi	http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011060210769	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi		Opinnäytetyön toimeksiantaja	
Martti Susitaival			

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Jukka Hokkanen		Degree programme and option Information Technology	
Name of the bachelor's thesis Positioning by using ND-100S GPS Receiver			
Abstract <p>Purpose of this theses was to introduce how ND-100S GPS Receiver works and test its accuracy. I also explain how GPS-system works, what it consists of and what kind of error sources it holds. In addition I tell little bit about two other satellite navigation systems such as Galileo and GLONASS.</p> <p>To test accuracy of the receiver I downloaded free software called VisualGPS for this purpose. VisualGPS gathers a lot of information from GPS signal and shows graphically all the data what is needed. By using this program with ND-100S, I recorded NMEA-data and examined the results.</p>			
Subject headings, (keywords) Satellite Navigation, coordinates, NMEA			
Pages 33+3	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011060210769	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Martti Susitaival		Bachelor's thesis assigned by	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	GPS	1
2.1	GPS-järjestelmän osat ja toimintaperiaate	2
2.2	Satelliitit	4
2.3	Virhelähteet	7
2.3.1	Satelliittigeometria	7
2.3.2	Ilmakehä	8
2.3.3	Satelliittien rata- ja kellovirheet	9
2.3.4	Käyttäjä ja vastaanotin	10
2.3.5	Monitieheijastus	10
2.4	GPS-vastaanotin	11
2.5	Koordinaattijärjestelmä	12
2.6	DGPS	14
2.7	SA-häirintä	15
2.8	A-GPS	16
2.9	Satelliittipohjaiset parannusjärjestelmät	17
3	MUITA SATELLIITTIPAIKANNUSJÄRJESTELMIÄ	17
4	GPS-PAIKANNIN ND-100S	19
4.1	SiRF Star III	19
4.2	Vastaanottimen käyttö ja toiminta	21
4.3	NMEA0183-standardi	22
4.3.1	NMEA0183:n rakenne	23
4.3.2	Vastaanottimen NMEA data	24
4.4	Vastaanottimen tarkkuuden mittaaminen	26
5	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	LÄHTEET	31

LIITE/LIITTEET

- 1 ND-100S-vastaanottimen teknisiä tietoja
- 2 SiRF Star 3 piirikaavion kytkentöjen selitykset

KESKEISIÄ TERMEJÄ JA LYHENTEITÄ

AGPS	Assisted GPS. Matkapuhelinverkon avustama paikannusmenetelmä.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange. 128 merkkipaikan laajuinen tietokoneiden merkistö.
C/A-koodi	Coarse Acquisition Code. Satelliittien lähettämän signaalin siviiliosan koodi.
Datum	Datumilla tarkoitetaan parametreja, jotka kiinnittävät koordinaatiston tarkastelun kohteena olevaan kokonaisuuteen eli koordinaattijärjestelmään
DGPS	Differential GPS. GPS-paikannuksen tarkkaan paikannettu- ja kiinteitä maa-asemia hyväksikäyttävä alueellinen tarkennusmenetelmä.
Dispersiivinen	Signaalin vaihe- ja ryhmänopeus ovat erisuuruisia.
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System. Eurooppalaisten kehittämä GPS-järjestelmän tarkkuutta parantava laajennusosa.
Galileo	Eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GLONASS	GLObalnaja NAVigatsionnaja Sputnikovaja Sistema. Venäjän satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Nimitys maailmanlaajuisesta satelliittipaikannusjärjestelmästä.
GPS	Global Positioning System. Amerikkalaisten kehittänyt satelliittipaikannukseen perustuva järjestelmä.
IGS	International GNSS Service. Palvelu, joka tarjoaa tietoa GPS- ja GLONASS -järjestelmille.
Inklinaatio	Kappaleen kiertoradan kaltevuutta kuvaava kulma.
Ionosfääri	Ilmakehän yläkerros 80-400 kilometrin korkeudessa.
L1/L2	GPS-järjestelmän käyttämät päätaajuuudet.
NAVSTAR GPS	NAVigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System. GPS-järjestelmän edeltävä nimitys.
NMEA0183	Standardi, jolla mm. GPS-laitteet kommunikoivat keskenään. Käyttää ASCII merkistöä.

PDOP	Position Dilution of Precision. Määrittelee satelliittigeometrian vaikutusta paikannuksen tarkkuuteen.
P-koodi	Precision Code. Salainen sotilaskäyttöön tarkoitettu tarkempaa paikkatietoa tarjoava GPS-signaali.
PPS-koodi	Precise Positioning Service. GPS-järjestelmän sotilaallinen osa.
PRN-koodi	Pseudo Random Noise Code. Signaalin koodausmenetelmä. Jokaisella satelliitilla on oma yksilöllinen koodinsa tunnistusta varten.
Project 621B	Yhdysvaltain ilmavoimien ohjelma paikannustekniikan kehittämiseksi.
SA	Selective Availability. Tahallinen GPS-järjestelmän häirintä, jolla heikennettiin siviilien käytössä olevien paikantimien tarkkuutta.
SPS-koodi	Standard Positioning Service. Siviilien käytössä oleva osa GPS-järjestelmää.
TIMATION	Yhdysvaltain laivaston hanke paikannustekniikan kehitykselle.
Troposfääri	10-15 kilometrin korkeudella sijaitseva ilmakehän alin kerros.
TTFF	Time To First Fix. Mittaa kuinka kauan GPS-vastaanottimelta kuluu aikaa löytää sijaintinsa.
USB	Universal Serial Bus. Sarjamuotoinen väylä oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
WAAS	Wide Area Augmentation System. Yhdysvaltain kehittämä GPS-järjestelmän laajennusosa, joka parantaa paikantimien tarkkuutta.
WGS-84	Koordinaattijärjestelmä, johon GPS-järjestelmä perustuu.

1 JOHDANTO

GPS on maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on pitkään tarjonnut paikkatietoa käyttäjilleen ja sen käyttö tänä päivänä on hyvinkin yleistä. Tämän työn tarkoituksena on kertoa GPS-järjestelmästä ja hieman myös muista satelliittipaikannusjärjestelmistä. Lisäksi esittelen ja testaen USB-käyttöisen GPS-vastaanottimen toimintaa. Vastaanottimena toimii ND-100S-mallinen USB-liitännäinen paikannin, jota käytän kannettavalla tietokoneella.

Työn alussa esittelen GPS:n historiaa ja yleisimpiä tekniikoita. Käyn läpi GPS:n toimintaan edellyttävät seikat, kuten satelliitit ja vastaanottimet sekä virhelähteet. Kerron hieman myös GPS:n kanssa kilpailevista järjestelmistä, joista tärkeimpinä eurooppalaisten Galileo- ja venäläisten GLONASS (GLObalnaja NAVigatsionnaja Sputnikova- ja Sistema) -järjestelmät. Käytännön osuutena selvitän vastaanottimen tarjoaman paikkatiedon laatua ja pyrin selventämään NMEA-datan sisältöä.

GPS:stä löytyy melko heikosti kirjallisuutta, varsinkin suomenkielistä, joten olen nojautunut tiedon haussa kirjallisen tiedon lisäksi runsaasti verkosta löytyvään materiaaliin. Kirjallisista lähteistä mainittakoon Markku Poutasen GPS-paikanmäärittäminen ja Samuli Miettisen GPS käsikirja. Poutasen teos on erittäin kattava ja myös matemaattinen. Valtaväestölle sopivampi vaihtoehto kirjallista GPS tietoa etsivälle on Miettisen teos. Siinä käydään selkeästi ja ymmärrettävästi läpi GPS:n osa-alueet ja toiminta.

2 GPS

Satelliittipaikannuksen käyttö on yleistynyt erittäin voimakkaasti viimeisten vuosien aikana lähinnä GPS:n ansiosta. GPS:n avulla voidaan maata kiertävien satelliittien ansiosta oma sijainti saada selville hyvinkin tarkasti ja pienellä vaivalla. Paikantamiseen tarvittavia vastaanottimia näkeekin nykyään hyvin monissa eri kohteissa, kuten mm. autoissa, veneissä, matkapuhelimeissa ja maanmittauksessa. Tämän on mahdollistanut vastaanotinlaitteiden halventunut hinta ja järjestelmän toimiminen sijainnista riippumatta, kunhan vain taivaalle on vapaa näkyvyys.

Ennen radiotaajuuksilla toimivia satelliitteja kokeiltiin 1960-luvulla ensimmäistä kertaa ns. satelliittilasereita. Nämä satelliitit olivat varustettu kulmaprismoilla, joita kohti laukaistiin maasta laserpulsseja. Heijastuneen pulssin matkaan käyttämästä ajasta voitiin laskea satelliitin etäisyys. Myös paikka saatiin selville, koska satelliitin rata oli tunnettu. [1, s. 15] Näin siis ennen radiosignaaleilla toimivaa satelliittipaikannuksen valtakautta, jota nykyään GPS hallitsee melko suvereenisti ainakin vielä.

Alunperin nimeltään NAVSTAR GPS:n (NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System) aika alkoi 1970-luvun alkupuoliskolla Yhdysvaltain puolustusministeriön johdolla yhdistämällä armeijan käyttöön Yhdysvaltain ilmavoimien (Project 621B) ja laivaston (TIMATION) hankkeet. [2, s. 23] Nykyisin käytetään vain nimitystä GPS. Tarkoituksena oli kehittää satelliittipaikannusjärjestelmä, joka kykenisi muutaman metrin tarkkuuteen, olisi yksisuuntainen sekä häiriösietoinen. Näillä vaatimuksilla GPS:n avulla voitiin määrittää melko tarkasti oma sijainti, nopeus ja aika. [1, s. 11]

Vuonna 1978 laukaistiin ensimmäisen sukupolven Block I -satelliitti ja vuoteen 1985 mennessä ko. satelliitteja oli avaruudessa neljä kappaletta. Block I -satelliiteista viimeinen poistettiin käytöstä 1995. Vuonna 1993 julistettiin järjestelmän olevan alustavasti valmis tarkoittaen, että taivaalla oli nyt tarvittavat 24 käytössä olevaa satelliittia. Pari vuotta myöhemmin julistettiin GPS:n olevan täysin valmis ja käytössä oli tällöin vain toisen polven Block II -tyypin satelliitteja. Samalla ilmoitettiin, että GPS toimii nyt kaikkialla maailmassa ympäri vuorokauden. Siviilikäyttöön GPS vapautettiin, tosin keskeneräisenä, jo vuonna 1984 presidentti Ronald Reaganin määräyksestä. [2, s. 23-25] Aina vuoteen 2000 asti USA harjoitti siviilipaikantimiin kohdistuvaa tahallista häirintää, mutta presidentti Bill Clinton määräsi Yhdysvaltain Puolustusministeriötä lopettamaan GPS-järjestelmän häirinnän, jonka seurauksena tarkkuus parani merkittävästi. [2, s. 48]

2.1 GPS-järjestelmän osat ja toimintaperiaate

GPS-järjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan. Ensimmäisenä on avaruusosa, johon kuuluvat toiminnassa olevat 24 satelliittia ja loput varalla olevat satelliitit. Toisena on valvontaosa, joka pitää sisällään järjestelmän toimintaa valvovia ja ohjaavia sekä tarvittavia korjauksia ja päivityksiä suorittavia maa-asemia. Kuvassa 1 on maa-

asemien sijainnit esitettynä maailmankartalla. Yksi maa-asemista on nimetty komentokeskukseksi ja se sijaitsee Colorado Springsissä. Sen tehtävänä on lähettää tarvittavat korjaus- ja päivitystiedot satelliiteille valvontaosaan kuuluvien maa-antennien kautta. Kolmantena tulee käyttäjäosa, johon kuuluvat lukemattomat siviilien ja sotilaskäytön GPS-vastaanottimet. [2, s. 32-33]



KUVA 1. GPS-järjestelmää valvovat maa-asemat [3]

GPS:n toiminta perustuu trilateraatioon, joka tarkoittaa satelliittien ja paikantimen välisen etäisyyden laskentaa kolmiomittauksen avulla. Etäisyyden selville saamiseksi tulee vastaanottimen laskea radiosignaalin kulkema aika sen lähettävän satelliitin ja vastaanottimen välillä. [2, s.42] Koska radiosignaalin nopeus, joka on valonnopeus, tiedetään, tarvitsee vielä selvittää kulunut aika, jotta etäisyys voidaan laskea kaavalla 1.

$$s = v \cdot t \quad (1)$$

,jossa

s = matka

t = aika

v = nopeus (n. 300000 km/s)

Edellä esitetty kaava on vain yleistys siitä miten järjestelmä toimii. Etäisyyden laskennassa on kyse pseudo- eli näennäisetäisyyden selvittämisestä, joka johtuu satelliittien ja vastaanottimen kellovirheistä. Ajan tarkkuus onkin yksi olennaisimmista perusteista sijainnin selvityksessä. Koska kyseessä on suuri nopeus, voi jo vain yhden tu-

hannesosa sekunnin (millisekunti) heitto ajassa merkitä paikannuksessa noin 300 kilometrin virhettä. Tästä johtuen satelliiteissa on asennettuna äärimmäisen tarkat atomikellot. Pseudoetäisyyden mittaukseen on olemassa kaava (kaava 2), jossa on otettu huomioon kellovirheet.

$$p = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2} + c(\Delta t - \Delta T) \quad (2)$$

,jossa

X,Y,Z kertovat vastaanottimen sijainnin

x,y,z satelliitin sijainti avaruudessa

Δt satelliitin kellovirhe

ΔT vastaanottimen kellovirhe

c on valonnopeus

Itse paikannukseen tarvitaan vähintään kolmen satelliitin signaali. Tällä satelliittimäärällä päädytään kahteen mahdolliseen pisteeseen, joista vastaanotin osaa laskemalla päätellä kumpi sijainneista on todellinen. Toinen pisteistä on tällöin nimittäin joko syvällä maan sisässä tai kaukana avaruudessa ja toinen piste on maan pinnalla. Neljännen satelliitin avulla voidaan laskea korkeutta ja mahdollistuu kolmiulotteinen paikannus, koska vastaanottimen ei enää tarvitse päätellä kumpi sijainneista on maan pinnalla. Neljännen satelliitin mukaan saaminen tarjoaa lisäksi kellokorjaustietoa, joka parantaa sijainnin tarkkuutta. [2, s. 42-44]

2.2 Satelliitit

GPS-järjestelmää varten avaruuteen laukaistut satelliitit sijaitsevat noin 20 000 km:n korkeudella maanpinnasta ja kiertävät maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa kukin. Yhteensä satelliitteja on 24 ja niistä kuusi on aina näkyvissä, jotta paikannus onnistuisi hyvin mistä tahansa. [1, s. 11] Ensimmäinen GPS-satelliitti laukaistiin kiertoradalle vuonna 1978. Tätä ajankohtaa pidetään myös varsinaisena GPS -ajan alkuna. [1, s. 19]



KUVA 2. GPS-satelliittien radat ja konstellaatio [4]

Satelliitit kiertävät maata kuudella ratatasolla, kuvan 2 mukaisesti, joiden väli on 60 astetta. Satelliitteja on aina neljä kappaletta yhtä ratatasoa kohden ja niiden inklinaatiokulma on päiväntasaajaan nähden 55 astetta. Satelliitit lentävät jopa neljän kilometrin sekuntinopeudella ja saavat energiansa kahdesta piiaurinkopaneelist, jotka ovat noin viiden neliömetrin suuruisia. Satelliittien korkean lentoradan myötä ne kattavat pienellä kappalemäärällä koko maapallon. Suuren etäisyyden vuoksi on myös voitu mitätöidä ilmakehän ylimpien kerrosten vaikutus satelliittien lentoratoihin ja näin satelliittien kiertoradoista on saatu hyvin vakioitua. Nykyisin satelliittien elinikä on noin 12–15 vuotta. [2, s. 33-35]

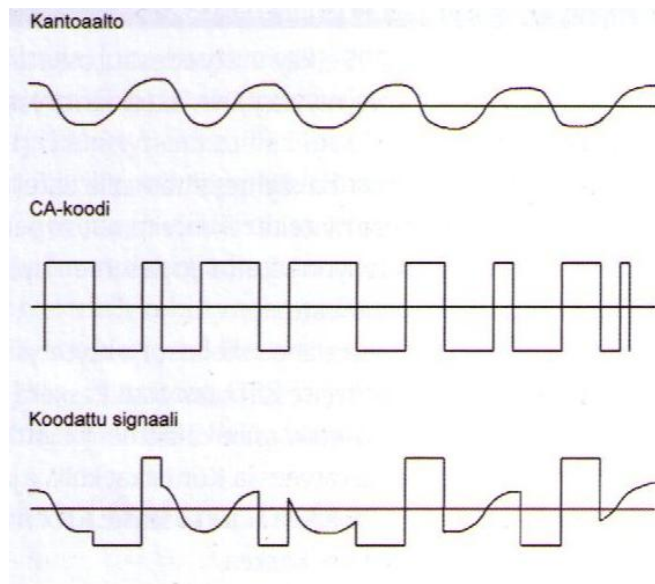
Yksi satelliitin tärkeimmistä osista on sen atomikello. Niitä on jokaisessa satelliitissa neljä kappaletta ja niitä tarvitaan niiden todella hyvän tarkkuuden vuoksi mittaamaan aikaa. Kelloja tarvitaan kertomaan vastaanottimelle satelliitin almanakkatiedot. Ajan-tietojen tulee olla äärimmäisen tarkat, jotta vastaanotin osaa laskea ja kertoa oman sijaintinsa sekä missä kyseenomainen satelliitti on signaalin lähtöhetkellä kulloinkin ollut. [2, s. 36]

Atomikellot perustuvat cesium- ja rubidium-atomien värähtelytaajuuteen. Molempien atomityypin kelloja on kaksi yhtä satelliittia kohden ja ne ovat todennäköisesti tarkimpia ihmisen kehittelemiä ajanmittausvälineitä. Kellojen toiminta perustuu atomien energiatason muutoksiin, jotka on hyvin tunnettu. Yhden sekunnin aikana cesium-kello värähtelee noin 9 miljardia kertaa. Virhettä ajanlaskuun kertyy pahimmillaan vain yksi sekunti kolmessa miljoonassa vuodessa. [2, s. 36]

Satelliitit lähettävät jatkuvasti, noin millisekunnin välein, valonnopeudella kulkevaa useammasta osasta koostuvaa signaalia 20000 km:n matkan läpi monimutkaista kokonaisuutta. Käyttäjän GPS-vastaanotin havaitsee signaalit ja laskee sijaintinsa niiden avulla. Signaalin lähtöteho on vain noin 50 W, eikä se näin ollen läpäise kiinteitä esineitä, kuten rakennuksia tai vaikkapa auton peltikattoa, mutta läpäisee toki esim. pilvet ja lasin. [4]

Satelliitit lähettävät kantoaaltoa kahdella taajuudella, jotka tunnetaan nimillä L1 ja L2. L1 on siviilikäytössä oleva taajuus ja L2 sotilaskäyttöön tarkoitettu. L1-kantoaallon lähetystaajuus on 1575,42 MHz aallonpituuden ollessa 19,0cm ja L2:n puolestaan 1227,6 MHz, aallonpituuden ollessa 24,4cm. Kantoaaltojen taajuuden ja signaalien vakauden varmistamiseksi, on satelliiteissa asennettuina tarkat atomikellot. [1, s. 118] Lähetettävä kantoaalto pitää sisällään moduloitua tietoa sekä koodin. Kantoaallon tieto-osa pitää sisällään satelliittien kunto-, rata- ja almanakkatiedot. Myös maa-asemien korjaamat tiedot satelliittien sijainnista ja ionosfäärin muutokset sisältyvät tieto-osaan unohtamatta yhtä tärkeintä, eli äärimmäisen tarkkaa aikatieoa siitä, milloin signaali on lähtenyt kohti maata. [2, s. 37-38]

C/A-koodi (Coarse/Acquisition Code) lähetetään 1,023 MHz:n taajuudella ja se on moduloitu ainoastaan L1:een. L1 lähettää navigaatio tiedon lisäksi siviilikäyttöön tarkoitettua SPS-koodia (Standard Positioning Service). Salainen P-koodi lähettää puolestaan sotilaskäyttöön tarkoitettua tarkkaa PPS-koodia (Precise Positioning Service), joka on koodattu sekä L1:een että L2:een. P-koodin purkuun tarvitaan sen vastaanottamiseen suunniteltua vastaanotinta, joita löytyy sotilaskäytöstä, sekä avaimia sen purkuun. C/A- ja P-koodi ovat molemmat näennäissatunnaista PRN koodia. PRN koodi on jokaisella satelliitilla yksilöllinen, josta vastaanotin tunnistaa kunkin satelliitin. [5] Kuvasta 3 ilmenee, kuinka kantoaalto yhdistettynä C/A-koodiin ja navigointiviestiin, muodostaa jokaiselle satelliitille ominaisen signaalin.



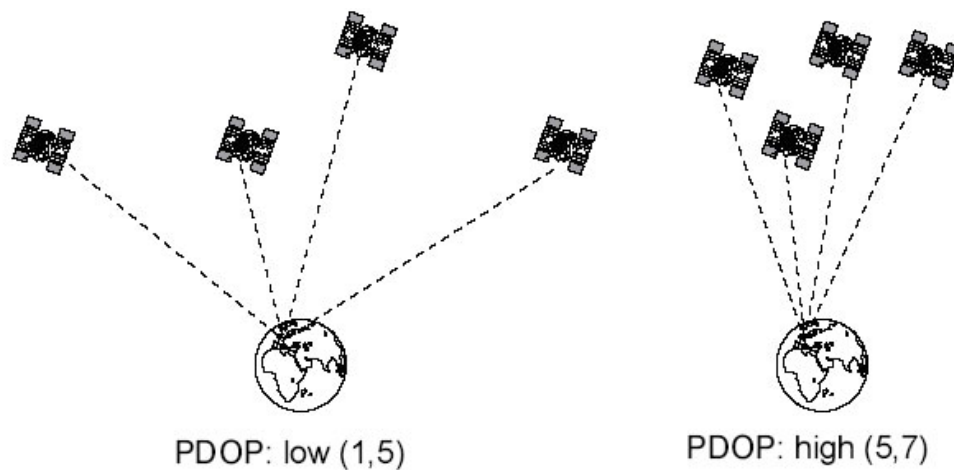
KUVA 3. Satelliitin lähettämän signaalin rakenne [2, s. 38]

2.3 Virhelähteet

GPS-paikannukseen liittyy erilaisia virhelähteitä, jotka ovat täytyneet ottaa huomioon suunnittelu ja rakennus vaiheessa. Virheitä satelliittien lähettämälle signaalille aiheuttavat mm. ilmakehän eri kerrokset, satelliittien rata- ja kellovirheet ja vastaanottimen ja käyttäjän virheet sekä vastaanottimen lähettyvillä tapahtuva monitieheijastus. Myös satelliittigeometria ja jo käytöstä poistettu, tahallinen ns. SA -häirintä, vaikuttavat paikannustarkkuuteen. [4]

2.3.1 Satelliittigeometria

Paikannuksen tarkkuuteen vaikuttaa näkyvissä olevien satelliittien määrä ja se kuinka satelliitit ovat taivaalla suhteessa toisiinsa. Tällöin puhutaan satelliittigeometriasta. Mitä leveämmässä kulmassa satelliitit ovat toisiinsa nähden, sen parempi. [2, s. 59] Seuraavalla sivulla olevan kuvan 4 vasemmanpuoleinen esimerkki näyttää millainen on hyvä satelliittigeometria. Siinä huomataan, että satelliitit ovat kaukana toisistaan ja sijoittuneet tasaisesti yläpuolella. Mitä pienempi PDOP (Position Dilution of Precision) arvo, sitä parempi.



KUVA 4. Satelliittigeometrian kuvaus, jossa vasemmanpuoleinen tilanne on parempi [6]

Jotkin vastaanottimet osaavat jo ottaa huomioon satelliittigeometrian laskiessaan paikkaansa. Vastaanotin käsittelee näkyvissä olevat satelliitit ja almanakkatietoihin perustuen laskee parhaan mahdollisen satelliittigeometrian. Vastaanotin yrittää siis saada PDOP arvon mahdollisimman alas. [6] Joskus voi käydä niin, että paikannusta yritetään korkeiden rakennusten tai luonnon muodostamien seinämien välistä, jolloin on käytettävä niitä harvoja näkyviä satelliitteja, eikä ole juuri mahdollisuutta valita omaan sijaintiin nähden parhaiten sijoittuneita satelliitteja.

2.3.2 Ilmakehä

Ilmakehän kerrokset aiheuttavat signaaliin epätarkkuutta. Ulompana ilmakehässä sijaitseva ionosfääri ja puolestaan lähempänä maata oleva troposfääri muuttavat signaalin etenemisnopeutta. Avaruuden tyhjiössä radiosignaalit kulkevat valon nopeudella, mutta saavuttaessaan ilmakehän, signaalin nopeus hidastuu. GPS-signaalin näkökulmasta ionosfääri on dispersiivinen eli signaalin vaihe- ja ryhmänopeus eivät ole samat. Tästä johtuen kantoaallot L1 ja L2 näkevät ionosfäärin erilaisena. Troposfääri on kantoaaltotaajuuksilla ei-dispersiivinen, joten L1 ja L2 etenevät samalla ryhmänopeudella. [1, s. 117]

Ionosfäärin vaikutus signaaliin kulkuun perustuu auringon ionisoivan voiman aiheuttamiin positiivisesti ja suureen määrään negatiivisesti varautuneisiin elektroneihin. Elektronitiheys on riippuvainen auringon aktiivisuudesta, vuorokauden- ja vuodenajasta sekä paikantajan leveysasteesta. [7, s. 2] Elektronit ja ionit ovat jakautuneet

ionosfäärissä neljään johtuvaan kerrokseen. Kerrokset taivuttavat signaalin elektromagneettisia aaltoja, josta aiheutuu pidentyvä aika signaalien matkaan. Ionosfäärin vaikutusta voidaan minimoida vastaanottimessa tapahtuvalla laskennalla. [5]

Troposfäärillä on myös signaalin elektroniaaltojen taivutamisvaikutus, joka hidastaa signaalin etenemistä. Tämä johtuu troposfäärin sisältämästä vesihöyrystä. Vesihöyryn määrä vaihtelee eri sääilmiöiden mukaan. Troposfäärin virhevaikutusta ei voida täysin eliminoida suurten vesihöyrypitoisuusvaihteluiden vuoksi ja näin ollen sen virheisuus on noin pari metriä. [5]

2.3.3 Satelliittien rata- ja kellovirheet

Satelliitteja laukaistaessa hyvin kauas avaruuteen oli tarkoitus saada niiden kiertoradat vakioiksi ja ennustettaviksi pitkälle tulevaisuuteen. Satelliitteihin vaikuttaa avaruudessa kuitenkin voimia, jotka saattavat heilauttaa niitä hieman pois kiertoradoiltaan. Tällaisia voimia, jotka saattavat heittää satelliitteja hieman sivuun ovat mm. auringon vetovoima ja jopa aurinkotuulet, joita näemme taivaalla revontulina. Satelliitit saattavat siirtyä yhden vuorokauden aikana jopa tuhansia metrejä ohi laskennallisista paikoistaan. Tästä ei tosin aiheudu kovin merkittäviä muutoksia etäisyyksien mittauksiin, mutta siitä huolimatta niitä on silloin tällöin siirrettävä takaisin oikeille radoilleen, jolloin siirrettävä satelliitti on poissa käytöstä noin vuorokauden ajan. [2, s. 57-58]

Ratatietojen tarkkuus, jota satelliitit itse lähettävät, on noin muutaman metrin luokkaa. Tämä epätarkkuus aiheuttaa korkeintaan 1mm suuruisen suhteellisen virheen 10 kilometriä kohden. Mikäli tarve vaatii huomattavan paljon tarkempia tietoja satelliittien sijainnista, voidaan käyttää IGS:n (International GNSS Service) laskemia tarkkoja satelliittien ratoja. Sen avulla voidaan siis laskea satelliittien paikat muutaman senttimetrin tarkkuudella, josta on suuresti hyötyä esim. meteorologiassa. [7, s. 1]

Aikaisemmin jo todettiin, että satelliitit pitävät sisällään neljä atomikelloa. Vaikka atomikellot ovat tähän saakka ihmisen kehittelemistä ajanlaskentavälineistä tarkimpia, liittyy niihinkin pieni, mutta huomioon otettava virhe. Atomikellojen kellovirheet nimittäin vaihtelevat välillä 8.64 - 17.28 nanosekuntia. Kertomalla aikavirhe valonnopeudella, voidaan todeta, että vertailukelpoinen vaihtelu tapahtuu 2.59 ja 5.18 metrin välillä. Näin ollen atomikellotkin suuresta tarkkuudestaankin huolimatta aiheuttavat

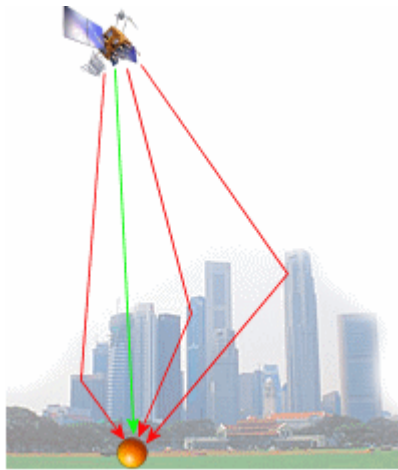
GPS-paikannukseen virheitä. Kellojen virhettä voidaan lieventää lisäämällä satelliitin lähettämään signaaliin kellokorjaus. Kellokorjauksen ansiosta virhe tipahtaa muutamaa nanosekuntiin, mikä puolestaan vastaa vain kymmeniä senttimetrejä etäisyyksissä maanpinnalla. [8]

2.3.4 Käyttäjä ja vastaanotin

Itse vastaanotin voi myös olla syyllisenä paikannuksen virheeseen. Vastaanottimen aiheuttavat virheet ovat hyvin pieniä, noin kahden metrin luokkaa. Vastaanotin aiheuttaa kohinaa eli epätarkkuutta sen laskiessa monia laskutoimituksia lyhyessä ajassa ja pitkien lukusarjojen laskuissa vastaanotin pyöristelee lukuja. Toinen syy epätarkkuuteen tulee radioaaltojen taustakohinasta. Tämä aiheuttaa virheellisen vastaavuuden PRN-koodiin. [2, s. 58] Kolmas asia, mistä virhettä syntyy, on paikantimen käyttämän kellon epätarkkuus. Paikantimissa käytetään kvartsikidekelloja, kun taas satelliiteissa on käytössä huomattavasti tarkemmat atomikellot.

2.3.5 Monitieheijastus

Monitieheijastuksella tarkoitetaan signaalin heijastumista jostakin pinnasta ennen kuin se saavuttaa vastaanottimen. Näin ollen signaali voi saapua vastaanottimeen useasta eri suunnasta kuvan 5 mukaisesti pidentäen signaalin saapumisaikaa ja tästä syystä aiheuttaa virhettä sijainnin tarkkuuteen. Monitieheijastus on voimakkainta, jos käytetään lähellä horisonttia näkyvän satelliitin signaalia. Heijastumista voivat aiheuttaa esim. järven pinta, rakennusten seinät ja vaikkapa peltikatot. Tämän vuoksi on syytä mahdollisuuksien mukaan pyrkiä välttämään heijastavia pintoja. [1 s. 138] Kuvassa 5 on tyypillinen esimerkki korkeiden rakennusten aiheuttamasta monitieheijastuksesta.



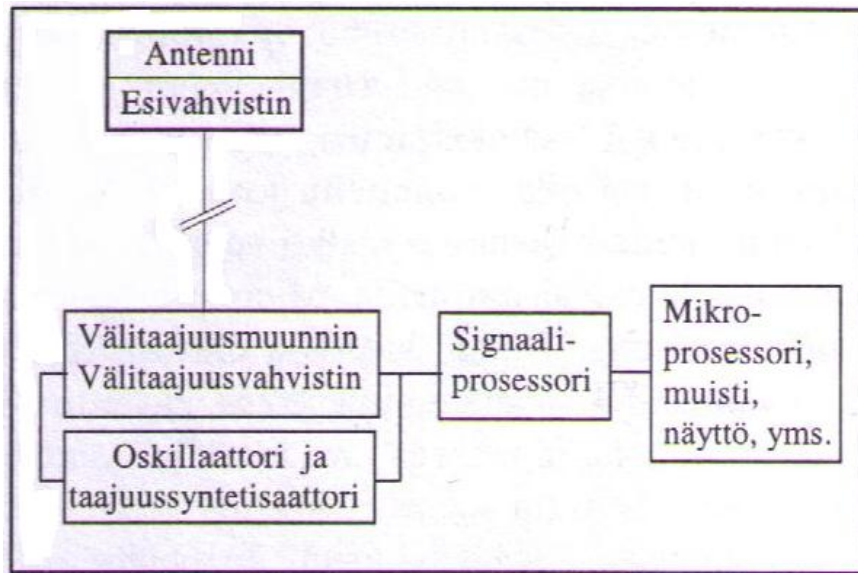
KUVA 5. Rakennusten pinnoista johtuvaa monitieheijastusta [9]

Heijastuksien estämiseksi on olemassa erityisesti tarkkuusmittareihin saatavia maalevyjä, jotka estävät alhaalta päin tulevat heijastuneet signaalit. Nykyajan vastaanottimissa on olemassa heijastuksesta aiheutuvien virheiden vähentämiseksi laskentatekniikoita, kuten keskiarvolaskenta, joka jättää huomioimatta huonossa paikassa olevat satelliitit. Tällöin vastaanotin tiputtaa mahdollisuuksien mukaan juuri lähellä horisonttia olevat satelliitit paikannuslaskennasta pois. [2, s. 59-60]

2.4 GPS-vastaanotin

GPS-vastaanotin ts. paikannin on GPS-järjestelmän osa, jonka tärkeimpiä tehtäviä on määrittää sijainti, aika ja mahdollisesti myös nopeus. Paikannin vastaanottaa satelliiteilta saapuvan GPS-signaalin, joka sisältää navigaatio-signaalin ja atomikellon ajan. Näiden tietojen pohjalta se suorittaa paikanmäärittäykseen tarvittavat laskutoimitukset ja ilmoittaa tulokset yleensä graafisen käyttöliittymän välityksellä käyttäjälle.

GPS-vastaanottiin kuuluu antenni, joka muuttaa sähkömagneettisen kentän sisältämää energiaa sähkövirraksi, kuten kuvassa 6 on havainnollistettu. Antenni voi olla sijoitettuna esim. vastaanottimen kanteen. Tällaisia ratkaisuja näkee erityisesti kompakteissa, kädessä pidettävissä malleissa. Myös erillisiä antennoja käyttäviä vastaanottimia on olemassa, jotka tavallisesti pitävät sisällään esivahvistimen, jonka tehtävänä on vahvistaa vastaanotettu signaali ennen sen siirtymistä vastaanottiin. [1, s. 145]



KUVA 6. GPS-vastaanottimen rakenne [1, s. 148]

Nykyisissä paikantimissa on lukuisia ominaisuuksia helpottamaan käyttäjänsä navigointia. Kompaktit, näytöllä varustetut navigointivastaanottimet ilmaisevat, mallista riippuen, joko sijainnin koordinaatteina ja/tai kartalla. Lisäksi ne voivat esittää tarkan kellonajan, kompassin ja satelliittikartan. Markkinoilla on myös mm. tietokoneen USB-porttiin soveltuvia malleja sekä Bluetooth-tekniikka käyttäviä GPS-paikantimia, jotka vain vastaanottavat signaalin ja lähettävät sen jälkeen tiedon langattomasti tietokoneeseen tai matkapuhelimeen. Nykyaikaisilla navigaattoreilla, joita on integroituna runsaasti myös eri puhelinmalleissa, voidaan suorittaa vaikkapa monimutkaisia reitti-toimintoja, jotka ottavat huomioon esim. tietyt ja vuorokaudenajasta riippuvan liikennemäärän ja näin ollen opastaa mahdollisesti nopeammalle reitille.

2.5 Koordinaattijärjestelmä

GPS:n tärkeimpiä tehtäviä on määrittää koordinaatit, jotta sijainti kartalla voitaisiin esittää. Koordinaattien tuottaminen on GPS:n perustehtäviä, mutta myös yksi vaikeimmista. Suurin osa koordinaatistoja koskeviin virheisiin liittyy niiden käsittelyyn ja muunnoksiin. Koordinaatistoja on käytössä lukuisia ja tästä syystä GPS:n antamat lukemat joskus poikkeavat kartan ilmoittamista paikoista. Tämä voi johtua siitä, että käytössä on vain erilainen koordinaatisto. Järjestelmä osaa tosin jo usein siirtyä sujuvasti koordinaatistosta toiseen, mutta aina se ei välttämättä onnistu. [1, s. 31]

Kuvassa 7 on yksinkertaisesti esitettyä koordinaattijärjestelmän, koordinaatiston, koordinaattien ja datumin suhde toisiinsa. Datumilla tarkoitetaan joukkoa suureita, joiden avulla koordinaatisto kiinnitetään koordinaattijärjestelmään. [10] Koordinaatit ovat lukuarvoja, jotka ilmoitetaan koordinaatistossa, joka kuuluu puolestaan koordinaattijärjestelmään. Koordinaattijärjestelmä määrittelee esim. skaalan ja vertausellipsoidin maantieteellisiin koordinaatteihin siirtymiseksi. Koordinaatisto on koordinaattijärjestelmän realisaatio, jolla tarkoitetaan sitä, että joukko pisteitä on kyseisessä koordinaattijärjestelmässä mitattu etukäteen erittäin tarkoin. Näiden huolella mitattujen pisteiden avulla voidaan muiden pisteiden koordinaatit saada selville. [11]



Kuva 7. Koordinaattijärjestelmän hierarkia [10]

Koordinaattien maantieteellisellä leveydellä ja pituudella voidaan esittää sijainti missä tahansa maapallolla. Koordinaatin yksikkö on yleensä aste (D), joka jakautuu minuutteihin (M), joka taas jakautuu sekunteihin (S). Koordinaatin leveysmerkinnän eli latitudin eteen kirjataan joko S tai N, riippuen siitä, onko koordinaattipiste eteläisellä vai pohjoisella pallonpuoliskolla. Myös pituusmerkinnän eli longitudin eteen tulee W tai E, riippuen ollaanko Greenwichin meridiaanista länsi- vai itäpuolella.

Koordinaattien perusesitysmuoto GPS laitteissa on DDMM.mmm, joka pitää sisällään asteet (DD), kaariminuutit (MM) ja kaariminuutin desimaaliosat (mmm). [2, s. 93] Mikkelin Tuomikirkon pääoven koordinaatit ovat esimerkkinä esiteltynä kuvassa 8. Kuvan koordinaateista voidaan todeta, että kirkko sijaitsee hyvin karkeasti tulkiten pohjoisen pallonpuoliskon 61:llä leveysasteella ja itäisellä 27:llä pituusasteella.



KUVA 8. Mikkelin Tuomiokirkon sijainnin koordinaatit [12]

GPS:n koordinaattijärjestelmänä toimii kansainvälinen WGS84-järjestelmä, jota GPS-satelliitit käyttävät lähettääkseen ratatietonsa. WGS84 on maailmanlaajuinen kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä, joka kehitettiin paikannuksen pohjaksi. Se kattaa koko maapallon 15 asteen lohkoissa pituuspiirissä Suomen mahtuessa kokonaisuudessaan yhteen tällaiseen lohkoon. [2, s. 166] Kuvassa 8 esitetyt koordinaatit perustuvat WGS84-koordinaattijärjestelmään.

2.6 DGPS

DGPS eli Differentiaalinen GPS on kehitetty erityisesti navigaatio-sovelluksia varten parantamaan siviilikäyttöön suunnatun SPS-signaalin tarkkuutta. Sen tarkoituksena on tarjota tarkkaa paikkatietoa myös laivoille, viranomaisille, matkajille jne. Järjestelmän avulla päästään noin 1-3 metrin tarkkuuteen. DGPS toimii maayksiköiden avustamana, jotka korjaavat GPS:n antamaa paikkatietoa tarkemmaksi. [13]

Differentiaalinen GPS luotiin aikanaan parantamaan paikannuksen laatua, koska Yhdysvaltojen puolustusministeriö tarkoituksellisesti heikensi GPS:n signaalia aina viime vuosikymmenen vaihteelle saakka. Toimenpiteen seurauksena GPS:n tarkkuus oli vain noin 80 metrin luokkaa, jonka vuoksi DGPS itse asiassa kehitettiin. Signaalin huonontamisen taustalla oli pelko vihollisen mahdollinen järjestelmän hyväksikäyttö mm. omien ohjustensa ohjauksessa. Signaalin heikentämisestä kuitenkin luovuttiin keväällä 2000, koska DGPS tarjosi kaikille halukkaille hyvää paikannustarkkuutta ja näin ollen signaalin huonontamisen tarve muuttui tarpeettomaksi. Nykyään GPS on vapaasti kaikkien käytettävissä. DGPS säilytti kuitenkin asemansa käyttäjien keskuudessa tarkkuuden ja luotettavuuden ansiosta. [14]

Järjestelmän toimintaperiaatteena on, että jollakin tunnetulla pisteellä sijaitsee toinen vastaanotin eli tukiasema. Paikannusta haluavan liikkuvalla vastaanottimella lähetetään esim. radiolinkin välityksellä havaittuihin paikkoihin tehdyt korjaukset oikeaan ja tunnettuun paikkaan nähden. Liikkuva vastaanotin tekee omaan paikkaansa samansuuruisen korjauksen. Mikäli molempiin vastaanottimiin vaikuttaa sama paikkaan liittyvä virhe, voidaan liikkuvan vastaanottimen virheet eliminoida kokonaan. [1, s. 202]

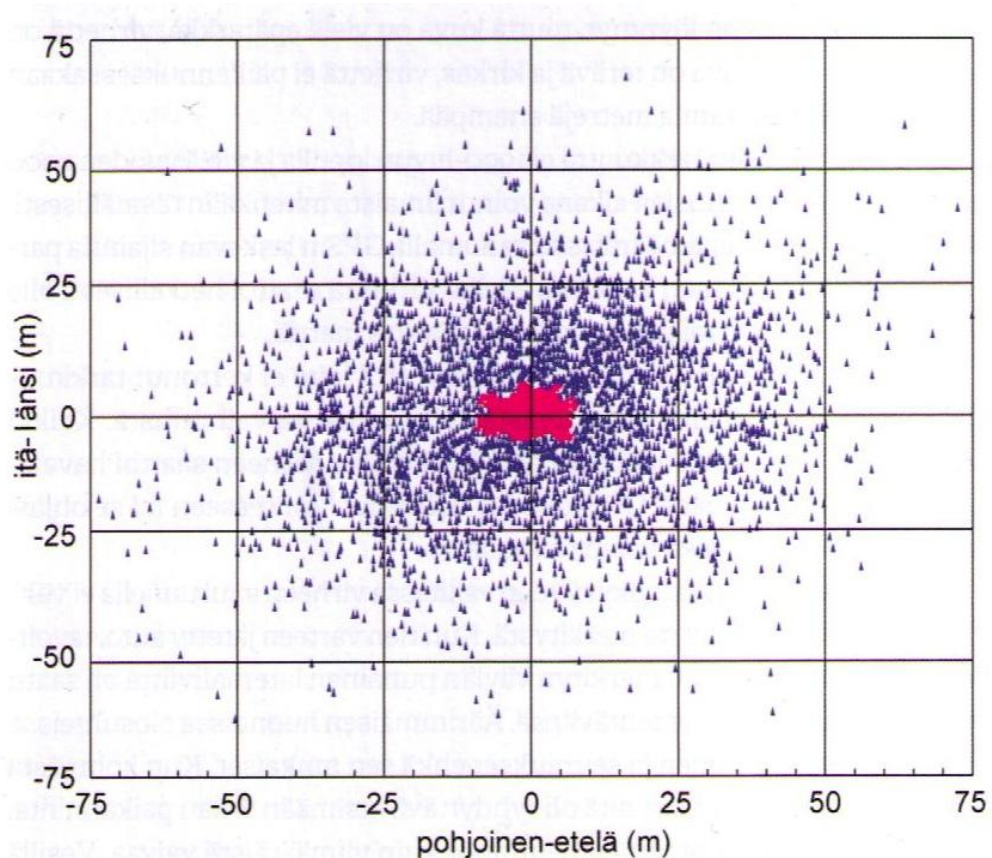
2.7 SA-häirintä

SA-häirintä tarkoittaa Yhdysvaltojen tarkoituksellisesti harjoittamaa GPS-signaalin heikentämistä, josta seurasi aikanaan paikannuksen tarkkuuden merkittävä heikentyminen. Häirinnästä luovuttiin vuonna 2000 presidentti Bill Clintonin määräyksestä ja sitä on sen jälkeen käytetty tietävästi vain muutamia kertoja lähinnä alueellisesti. Eräänä esimerkkinä yhdestä käyttökerrasta voidaan mainita New Yorkin syyskuun 11. päivän tapahtumat, jonka jälkeen SA-häirintä oli maailmanlaajuisesti päällä ymmärrettävistä syistä. Nykyään SA-häirintä on siis kytketty pois päältä, mutta pitää muistaa, että Yhdysvalloilla on mahdollisuus kytkeä se takaisin päälle koska tahansa. [2, s. 52] Tästä syystä aiheesta on hyvä kertoa ja tuoda hieman esille sen toimintaa.

SA-häirinnän ideana on atomikellojen manipulointi. Järjestelmälle luodaan suuri kellovirhe ja satelliittien ratatietoja huononnetaan. Näitä molempia muuttujia voidaan säätää tarpeen mukaan huonompaan tai parempaan suuntaan. Kaikki tämä suoritetaan Yhdysvaltojen Coloradossa sijaitsevalta keskusasemalta. Kellovirheen aikaansaanti tapahtuu atomikellojen taajuuteen kehittämällä satunnaislukujen avulla virhe, joka on satunnaisen suuruinen satunnaisella hetkellä. SA-häirintä perustuu siis hyvin pitkälle sattumanvaraisuuteen. [2, s. 48]

SA:n sulkeuduttua GPS-paikantimien tarkkuudessa huomattiin merkittävää parannusta. Mm. valtion teknillisen tutkimuslaitoksen mittatekniikan keskuksen testit, joissa käytettiin kymmeniä paikantimia, näyttivät todella suuren muutoksen. Oheisessa kuvassa 9 onkin tuon tutkimuksen mittaustulokset taulukossa ennen ja jälkeen SA-häirinnän. Sinisenä näkyvät pisteet ovat mittaustuloksia, jotka on otettu testin paikantimilla sekunnin välein 24 tunnin ajalta SA:n ollessa päällä ja punaiset pisteet vastaavasti kun häirintä on pois kytkettynä. Punaisten pisteiden muodostama tasainen alue

kertoo hyvin selkeästi, kuinka suuri merkitys häirinnän poistumisella oli paikannuksen tarkkuuteen. [2, s. 49]



KUVA 9. VTT:n suorittaman mittauksen tulokset ennen (sininen) ja jälkeen (punainen) SA-häirinnän pois kytkemistä [2, s.50]

2.8 A-GPS

A-GPS tarkoittaa avustettua satelliittipaikannusta, joka on matkapuhelinverkkopaikannusta hyödyntävä kokonaisuus. Se koostuu useammasta osasta, joita ovat kiinteä vastaanotin, paikannuspalvelin ja itse vastaanotin. Kiinteät vastaanottimet keräävät tarvittavia paikannustietoja, kuten rata- korjaus- ja kalenteritiedot ja siirtää ne paikannuspalvelimelle. Paikannuspalvelin lähettää tiedot eteenpäin esim. GSM verkko käyttäen, GPS-vastaanottimelle. Tällöin itse vastaanottimen ei tarvitse aloittaa hidasta satelliittitietojen keräämistä ja näin ollen sijainninmääritys voi tapahtua muutamissa sekunneissa. A-GPS toimii jollakin asteella myös sisätiloissa ja on erityisen kätevä varsinkin kaupunkien keskustoissa, jossa korkeat rakennukset saattavat häiritä esteetöntä näkyvyyttä taivaalle. [15, s. 22] A-GPS ominaisuus löytyy nykyisin monesta

uudemmassa matkapuhelinmallista ja se onkin varsin kätevä ja toimiva ominaisuus, koska paikannusväline on yleensä aina mukana.

2.9 Satelliittipohjaiset parannusjärjestelmät

Satelliittipohjaisella parannusjärjestelmällä tarkoitetaan GPS-järjestelmän tarkkuutta alueellisesti parantavaa järjestelmää. Kansainvälisiä parannusjärjestelmiä ovat mm. yhdysvaltalainen WAAS (Wide Area Augmentation System) ja eurooppalainen EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), joita molempia testaamani GPS-vastaanotin tukee. [2, s. 56]

WAAS on tarkka, alunperin siviili-ilmailuun kehitetty, navigointijärjestelmä. Se perustuu ryhmään satelliitteja ja maayksiköitä, jotka tarjoavat korjauksia GPS-signaaliin ja näin ollen parantaa sijainnin tarkkuutta. Järjestelmään kuuluu noin 36000km:n korkeudella, geostationäärisillä kiertoradoilla kulkevia tietoliikennesatelliitteja, jotka lähettävät tarvittavat tiedot vastaanottimiin GPS-järjestelmän taajuudella. WAAS korjaa GPS-signaalin mm. ionosfäärin häiriöistä ja satelliittien kiertoratojen virheistä johtuvia vääristymiä. [2, s. 56]

EGNOS on eurooppalaisten vastine WAAS:lle. Se toimii samalla periaatteella, mutta vain Euroopan alueella. EGNOS muodostuu kolmesta maata kiertävästä geostationäärisestä satelliitista, jotka yhdessä maayksiköiden verkoston avulla parantavat paikannuksen tarkkuutta seuraamalla GPS-signaalin tarkkuutta ja lähettämällä sitten korjaussignaalin vastaanottimille. Järjestelmän avulla Euroopassa päästään 1,5 metrin tarkkuuteen. [16]

3 MUITA SATELLIITTIPAIKANNUSJÄRJESTELMIÄ

GPS:n lisäksi on olemassa tai on kehitteillä muitakin satelliittipaikannukseen perustuvia järjestelmiä. Näistä kahtena merkittävimpänä voidaan pitää sellaisia järjestelmiä kuin GLONASS ja Galileo. GLONASS on toiminnassa oleva venäläisten kehittämä paikannusjärjestelmä. Galileo on puolestaan Euroopassa kehitteillä oleva paikannusjärjestelmä. Sitä kehitetään Euroopan Unionin ja Euroopan avaruusjärjestön yhteistyönä.

Galileota voidaan pitää Euroopan omana satelliittipaikannusjärjestelmänä. Kuten edellä mainittu, on se EU:n ja ESA:n yhteistyönä kehitteillä oleva projekti. Galileo sai alkunsa vuonna 1999, kun ESA:an kuuluvien maiden liikenneministerit päättivät järjestelmän rakentamisesta. Galileota alettiin suunnitella siis ennen Yhdysvaltojen harjoittaman SA-häirinnän poissulkemista. Häirinnän käytöstä poistolla haluttiin varmistua, että satelliittipaikannusmarkkinat pysyisivät amerikkalaisilla ja takaisi heidän alan teollisuudelle tulevaisuuden. Galileon kehitystyö kuitenkin jatkui tästä huolimatta. Galileo on lähinnä siviilien käyttöön tarkoitettu ja sen tavoitteena on olla sotilaallisista ja kansallisista velvoitteista irtautunut järjestelmä, jolla tuotettaisiin palveluita esim. kuljetusjärjestelmille. [2, s. 182]

Galileoon on tarkoitus kuulua yhteensä 30 satelliittia, joista kolme olisi varalla ja 27 jatkuvassa käytössä. Satelliittien lentokorkeus avaruudessa olisi tarkoitus asettua 23616 km:n korkeuteen kiertämään kolmea eri ympyränmuotoista lentorataa. Paremman peiton saavuttamiseksi pohjoisille maapallon alueille, satelliitit asetetaan 56 – asteen inkliinaatiokulmaan. Tämän lisäksi on tarkoitus kehittää ja rakentaa suuri ja kattava maa-asemien verkosto järjestelmän tueksi. [2, s. 183]

Neuvostoliitto rakensi noin viisi vuotta amerikkalaisten jälkeen oman paikannusjärjestelmänsä, jonka ensimmäinen satelliitti ammuttiin avaruuteen vuonna 1982. GLONASS-järjestelmä saavutti lopullisen laajuutensa vuosien 1995-96 vaihteessa ja oli näin suunnitelmien mukainen. Neuvostoliittolaisten järjestelmä muistutti hyvin paljon amerikkalaisten kehittämää GPS-järjestelmää, niin tekniseltä toteutukseltaan, kuin toimintaperiaatteiltaan. Tästä johtuen amerikkalaiset jopa epäilivät myyrän saataneen GPS:n tiedot ja salaisuudet venäläisille, mutta koskaan tällaista myyrää ei tutkimuksissa löydetty. [2, s. 25-26]

Merkittävin ero näiden kahden järjestelmän välillä on satelliittien lähettämässä radio-signaalissa. GLONASS-satelliitit lähettävät signaalia kahdella taajuudella, kuten GPS, mutta kaikilla satelliiteilla on oma radiotaajuutensa satelliittien tunnistettavuuden vuoksi. GLONASS-satelliittien lähettämässä koodissa ei ole salausta eikä näennäissatunnaista virhettä ole niihin tahallisesti lisätty. Näin ollen, ovat venäläiset päässeet parempaan tarkkuuteen kuin amerikkalaiset. [2, s. 26-27]

GLONASSiin kuuluu 24 satelliittia, joista 21 on käytössä ja kolme varalla ja ne ovat kolmella eri ratatasolla, jotka sijaitsevat noin 19100 km:n korkeudessa. Satelliittien kiertoaika on kutakuinkin 11 tuntia ja 15 minuuttia ja ne sijaitsevat 120-asteen välein avaruudessa. Satelliittien inkliinaatiokulma on noin 65 astetta, jonka vuoksi GLONASSin peitto napa-alueilla on Galileon tavoin parempi kuin GPS:n. Venäläiset ovat toisaalta onnistuneet turaamaan satelliittien kanssa niiden eliniän ja tekniikan toimimisen kannalta. Viallisia satelliitteja on korvattu melkoisella tahdilla, josta hyvin kertoo se, että satelliitteja on jouduttu ampumaan avaruuteen jo noin sata kappaletta. [2, s. 26]

4 GPS-PAIKANNIN ND-100S

Työssä käytän ND-100S SiRF 3 GPS vastaanotinta, joka on tarkoitettu lähinnä kannettaviin tietokoneisiin. Vastaanotin on USB-käyttöinen kuten kuvasta 10. voidaan huomata. Se käyttää SiRF Star 3 mikropiiriä ja tukee mm. satelliittipohjaisia parannusjärjestelmiä, kuten WAAS ja EGNOS, joista on kerrottu tarkemmin luvussa 2.10. Vastaanottimen antennina toimii sisäänrakennettu keraaminen antenni.



KUVA 10. ND-100S GPS-vastaanotin [17]

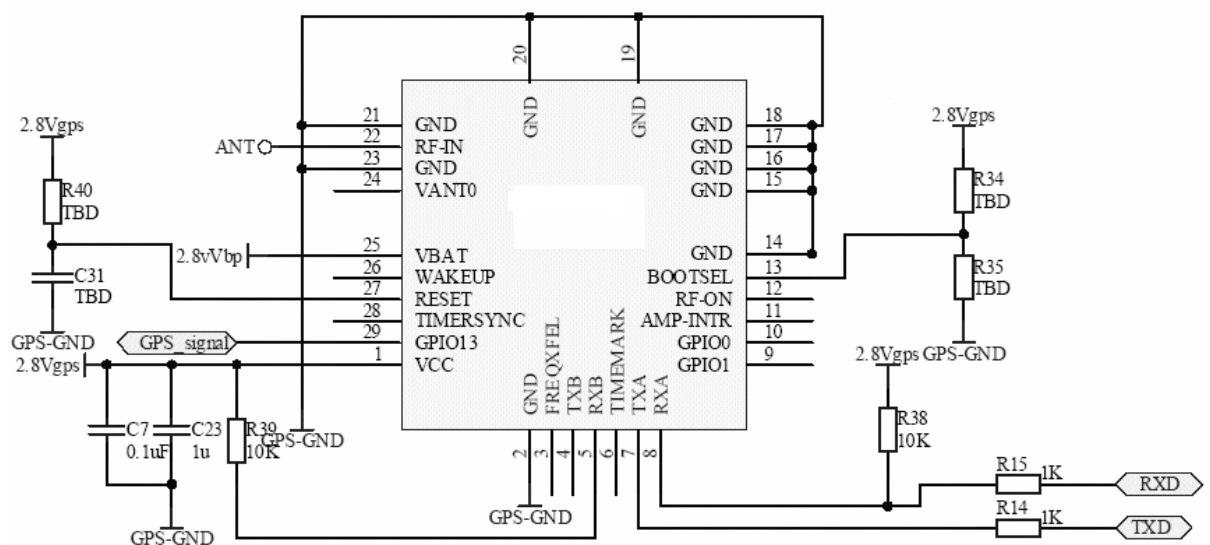
4.1 SiRF Star III

ND-100S vastaanotin pitää sisällään SiRF Star 3 mikropiirin, jonka tehtävänä on määrittää sijainti, suorittamalla jatkuvasti erilaisia laskutoimituksia. Piiri on suunniteltu

käytettäväksi langattomissa ja kädessä pidettävissä paikannukseen perustuvissa laitteissa. Sitä käytetäänkin yleisesti monissa GPS-vastaanottimissa, kuten autonavigaattoreissa, kädessä pidettävissä vastaanottimissa ja matkapuhelimeissa. Pienen kokonsa ja alhaisen virrankulutuksen ansiosta se soveltuu moneen eri laitteeseen. Mikropiiri kykenee nopeaan paikanmääritykseen ja toimii hyvin hieman huonommissakin olosuhteissa, kuten metsässä ja kaupunkien keskustoissa, joissa vapaa näkyvyys taivaalle voi olla rajoitettua.

SiRF Star 3 tukee 20 kanavaa, herkkyys on -159dBm ja se käyttää siviilikäyttöön tarkoitettua C/A koodia sisältävää L1 taajuutta, joka toimii 1575,42MHz:n taajuudella. Piiri kykenee saamaan ensimmäisen sijaintitiedon käynnistyksestä (TTFF, Time To First Fix) parhaimmillaan (hot start) noin sekunnissa, mutta tämä vaatii paikannusta kohdassa, jossa vastaanotinta on käytetty lähiaikoina. Myös piirin tukeman A-GPS ominaisuuden avustuksella voidaan saavuttaa nopea paikannus, mikä on mahdollista, jos siru on asennettuna matkapuhelimeen. SiRF Star 3 käyttää maailmanlaajuista WGS84 koordinaattijärjestelmää ja tukee NMEA0183-protokollaa, josta lisää NMEA0183 otsikon alla. [18, s. 15] Työn lopussa olevassa spesifikaatio liitteessä on sirun ja itse vastaanottimen tiedot ja ominaisuudet tarkemmin

SiRF Star 3 vastaanottaa antennin avulla GPS-signaalin. Kuvassa 11 on piirin piirikaavio, josta ilmenee piirin kytkennät. Antennista signaali kulkeutuu mahdollisen esivahvistimen kautta mikropiirille prosessoitavaksi RF-IN nastaan kuvan 11 mukaisesti. Käyttöjännite piirille syötetään VCC nastan kautta. [19] Työn lopussa olevassa liitteessä on kerrottu kunkin nastan tarkoitus.



Kuva 11. SiRF Star 3 piirikaavio [19, s. 9]

4.2 Vastaanottimen käyttö ja toiminta

ND-100S GPS-vastaanottimen mukana tulee lisäksi asennuslevy, jonka avulla tarvittavan ohjelmiston ja vastaanottimen ajurien asennus tapahtuu vaivattomasti. ND-100S:ää käytetään graafisen käyttöliittymän omaavan ohjelman välityksellä. Ohjelman avulla laitteen vastaanotin voidaan kytkeä päälle ja seurata sekä tallentaa laitteen runsaasti vastaanottamaa informaatiota. Laite tarvitsee erikseen ladattavan ja asennettavan karttaohjelman, jotta navigointi ja oman sijainnin seuranta kartalla onnistuu. Tähän tarkoitukseen käy mainiosti esim. Google Maps.

Vastaanotin asetetaan kannettavan tietokoneen USB-paikkaan tai voidaan käyttää USB-jatkokaapelia, jotta vastaanotin saadaan pidettyä helpommin paikalla, jossa on vapaa yhteys taivaalle, eikä tarvitse keskittyä tietokoneen sijaintiin. Ohjelman ja ajurien asennuksen jälkeen laite on valmis käyttöön. ND-100S-ohjelman yläosassa on valinta, jota painamalla vastaanotin saadaan aktivoitua. Näin toimien laite ottaa yhteyden näkyviin satelliitteihin, mikäli taivaalle on vapaa näkyvyys, ja alkaa keräämään paikannukseen liittyvää tietoa.

Ohjelman päävalikko kertoo paikannukseen liittyvää tietoa. Kuvasta 12 voidaan nähdä ohjelman päävalikon näkymä. Siitä käy hyvin selvästi ilmi kello ja päivämäärätiedot, käytettävissä olevat satelliitit, satelliittigeometriatiedot ja pituus- sekä leveysasteet. Myös korkeus selviää näkymästä sekä nopeus, mutta mittaushetkellä ei liikettä ollut. Kuvassa 12 olevat vihreät palkit viittaavat satelliitteihin, jotka ovat sillä hetkellä mukana paikannuksessa ja punaiset puolestaan satelliitteja, joita ei käytetä paikannukseen. Palkkien vasemmalla puolella nähdään satelliittien jakautuminen taivaalla sekä numerotieto kustakin, jotta satelliittien vertailu palkkeihin olisi mahdollista. Päävalikon alaosasta näkymää vaihtamalla pääsee seuraamaan reaaliaikaisesti ohjelman keräämää NMEA-dataa, mikäli yhteys on luotu.



KUVA 12. Paikantimen alkuvalikko paikannuksen ollessa käynnissä

4.3 NMEA0183-standardi

Käyttämäni vastaanotin, ND-100S, on yhteensopiva NMEA-standardin mukaisiin navigointi ohjelmiin. NMEA0183 on alunperin merielektroniikan liitäntöihin luotu standardi. Se määrittelee yhteydenpitoon tarvittavan tiedonsiirtoprotokollan merilaitte-

tekniikoiden välille. Nykyisin voidaan sanoa, että NMEA0183 on paikannusstandardi, jonka avulla saadaan erilaiset GPS-vastaanottimet ja kartat kommunikoimaan keskenään. Laitteet keskustelevalle käyttäen ASCII-merkeistä koostuvia lauseita. [20, s. 1-2]

NMEA 0183 laitteet ovat määritetty joko niin sanotusti kuuntelijoiksi tai puhujiksi tai voivat olla näitä molempia. Standardin mukaiset laitteet käyttävät tiedonsiirrossa bittinopeutena 4800:aa ja bittien lukumääränä kahdeksaa. Tieto välitetään yhteensopivalta laitteelta toiseen elektronisena tekstinä tietynlaisina lauseina, joilla on ennalta määrätty, standardoitu rakenne. Noudattamalla standardia, valmistajat voivat olla varmoja, että heidän laitteensa pystyvät lukemaan ja ymmärtämään muilta laitteilta vastaanotettua tietoa ja lähettämään tietoa takaisin tavalla, jota muut laitteet ymmärtävät. [21]

4.3.1 NMEA0183:n rakenne

ND-100S kirjaa reaaliaikaisesti NMEA dataa, jota on myös mahdollista tallentaa omalle tietokoneelle. Ohjelma tulostaa NMEA-standardin mukaista dataa kuuden rivin jaksoissa, joista ilmenee runsaasti tietoa paikannukseen liittyen. Yksi rivi pitää sisällään yhden lauseen, joita ovat GPGGA, GPGSA, GPRMC, GPGLL, GPVTG ja GPGSV. Jokainen näistä tulostuu sekunnin välein paitsi GPGSV lauseen sisältämä tieto tulostuu joka viides sekunti. Kuvassa 13 on esitettyä kuvakaappaus laitteen vastaanottaessa signaalia satelliiteilta ja esittävän sen NMEA-muodossa. Osa riveistä ei näy täysin leveyssuunnassa, mutta seuraavassa kappaleessa käyn rivit läpi yksitellen. Ne tosin poikkeavat kuvassa esitetystä datasta, koska mittauspaikka ja -aika ovat olleet eri.

```

$GPVTG,,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*13
$GPGGA,181522.000,6141.6089,N,02716.7103,E,1,06,1.5,95.0,M,0.0,0.0,0.0,A*56
$GPGLL,6141.6089,N,02716.7103,E,181522.000,A,A*56
$GPGSA,A,3,17,27,15,28,11,09,1,2,4,1.5,1.9*3C
$GPRMC,181522.000,A,6141.6089,N,02716.7103,E,0.00,0.00,0.0,0.0,0.0,0.0,A*13
$GPVTG,,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*13
$GPGGA,181523.000,6141.6089,N,02716.7103,E,1,06,1.5,95.0,M,0.0,0.0,0.0,A*57
$GPGLL,6141.6089,N,02716.7103,E,181523.000,A,A*57
$GPGSA,A,3,17,27,15,28,11,09,1,2,4,1.5,1.9*3C
$GPGSV,3,1,12,27,75,228,27,09,63,272,33,17,52,099,34,15,34,2
$GPGSV,3,2,12,28,25,074,25,22,15,298,24,11,097,25,11,11,023
$GPGSV,3,3,12,12,08,245,18,07,267,14,03,334,04,01,123,78

```

KUVA 13. Vastaanottimen tallentamaa NMEA-dataa

4.3.2 Vastaanottimen NMEA data

Seuraavassa on vastaanottimen tallentamasta lokitiedostosta ote. Alla on kokonaisuudessaan kuusi riviä NMEA-dataa, mitä laite on tallentanut ollessaan aktiivisena. Käyn jokaisen rivin läpi selvittäen pääpiirteittäin mitä kunkin rivin informaatio pitää sisällään.

1. \$GPVTG,,T,,M,0.00,N,0.0,K,A*13
2. \$GPGGA,145553.000,6141.6200,N,02716.7093,E,1,11,0.8,88.5,M,18.8,M,,0000*6A
3. \$GPGLL,6141.6200,N,02716.7093,E,145553.000,A,A*53
4. \$GPGSA,A,3,02,20,13,10,16,23,30,29,07,04,05,,1.5,0.8,1.2*36
5. \$GPRMC,145553.000,A,6141.6200,N,02716.7093,E,0.00,,200211,,,A*7A
6. \$GPGSV,3,1,12,07,72,172,34,10,51,205,28,08,46,213,31,05,45,289,37*7A
 \$GPGSV,3,2,12,13,44,109,42,16,22,036,33,06,13,057,38,03,13,071,42*79
 \$GPGSV,3,3,12,02,12,249,17,23,09,107,43,26,08,279,23,30,04,024,*7B

1. GPVTG,, T ,, M , 0.00,N , 0.0,K , A*13

GPVTG on tarkoitus ilmaista nopeutta, mutta koska olin paikallani mittaushetkellä, ovat arvot nolla.

N edessä olevat lukemat viittaavat nopeuteen solmuina.

K puolestaan nopeus kilometreinä tunnissa.

A*13, Tilan viittaaja. Tässä tapauksessa Autonominen tarkastussumma on 13.

2. GPGGA,145553.000,6141.6200,N,02716.7093,E,1,11,0.8,88.5,M,18.8,M,,0000*6A

GGA lause sisältää järjestelmän korjaustiedot.

145553.000 ilmaisee kellonajan koordinoituna yleisaikana (UTC) Tässä tapauksessa iltapäivällä klo. 14:55:53

6141.6200,N leveysasteet. 61 astetta 41,62' pohjoista leveyttä

02716.7093,E pituusasteet. 27 astetta 16,7093' itäistä pituutta

1 tarkoittaa, että käytetään GPS tietoja

11 näkyvillä olevien satelliittien lukumäärä

3. GPGLL,6141.6200,N,02716.7093,E,145553.000,A,A*53
 GLL kertoo pituus ja leveysasteet.
6141.6200,N pohjoista leveyttä 61 astetta ja 41,62 minuuttia
02716.7093,E itäistä pituutta 27 astetta ja 16,7093 minuuttia
145553.000 mittausaika UTC-ajassa eli 14:55:53. Suomen ajassa 16:55:53
A tarkoittaa, että mittaus on aktiivinen.
A*53 ilmoittaa tarkistussumman.

4. GPGSA,A,3,02,20,13,10,16,23,30,29,07,04,05,,1.5,0.8,1.2*36
 GSA ilmaisee DOP (satelliittigeometria) arvot ja aktiiviset satelliitit.
A tarkoittaa että on käytössä automaattinen valinta kaksi- ja kolmiulotteisuuden välillä.
3 kertoo että käytössä on 3D-valinta
02,20,13,10,16,23,30,29,07,04,05 Numerot ovat satelliittien tunnistenumeroita. Listassa olevia numeroita vastaavat satelliitit ovat käytössä mittaushetkellä.
1.5 on satelliittigeometrian (PDOP) arvo
0.8 Horisontaalisen satelliittigeometrian arvo (HDOP)
1.2 Vertikaalisen satelliittigeometrian arvo (VDOP)

5. GPRMC,145553.000,A,6141.6200,N,02716.7093,E,0.00,,200211,,,A*7A
 RMC kertoo oleellisia GPS paikannukseen tarvittavia tietoja eli sijainnin, nopeuden ja ajan.
145553.000 ilmaisee ajan
A tarkoittaa, että status on aktiivinen
6141.6200,N pohjoista leveyttä 61 astetta ja 41,62 minuuttia
02716.7093,E itäistä pituutta 27 astetta ja 16,7093 minuuttia
0.00 on mittaushetken nopeus solmuina
200211 on päivämäärä eli 20.02.2011

6. \$GPGSV,3,1,12,07,72,172,34,10,51,205,28,08,46,213,31,05,45,289,37*7A
 \$GPGSV,3,2,12,13,44,109,42,16,22,036,33,06,13,057,38,03,13,071,42*79
 \$GPGSV,3,3,12,02,12,249,17,23,09,107,43,26,08,279,23,30,04,024,*7B

GSV ilmaisee näkyvillä olevat satelliitit tulostaen tiedon joka viides sekunti. Lause voi olla esimerkin mukaisesti kolme riviä pitkä, riippuen näkyvien satelliittien määrästä. Käyn läpi ensimmäisen rivin. Jokaisen rivin alussa on kolme lukua, jotka eivät liity itse satelliitteihin.

3 kertoo kuinka monta lausetta GSV data pitää sisällään. Tässä tapauksessa kolme.

1 tarkoittaa että kyseessä on ensimmäinen lause

12 näkyvillä olevien satelliittien lukumäärä

07 satelliitin yksilöllinen PRN numero

72 satelliitin korkeusaste

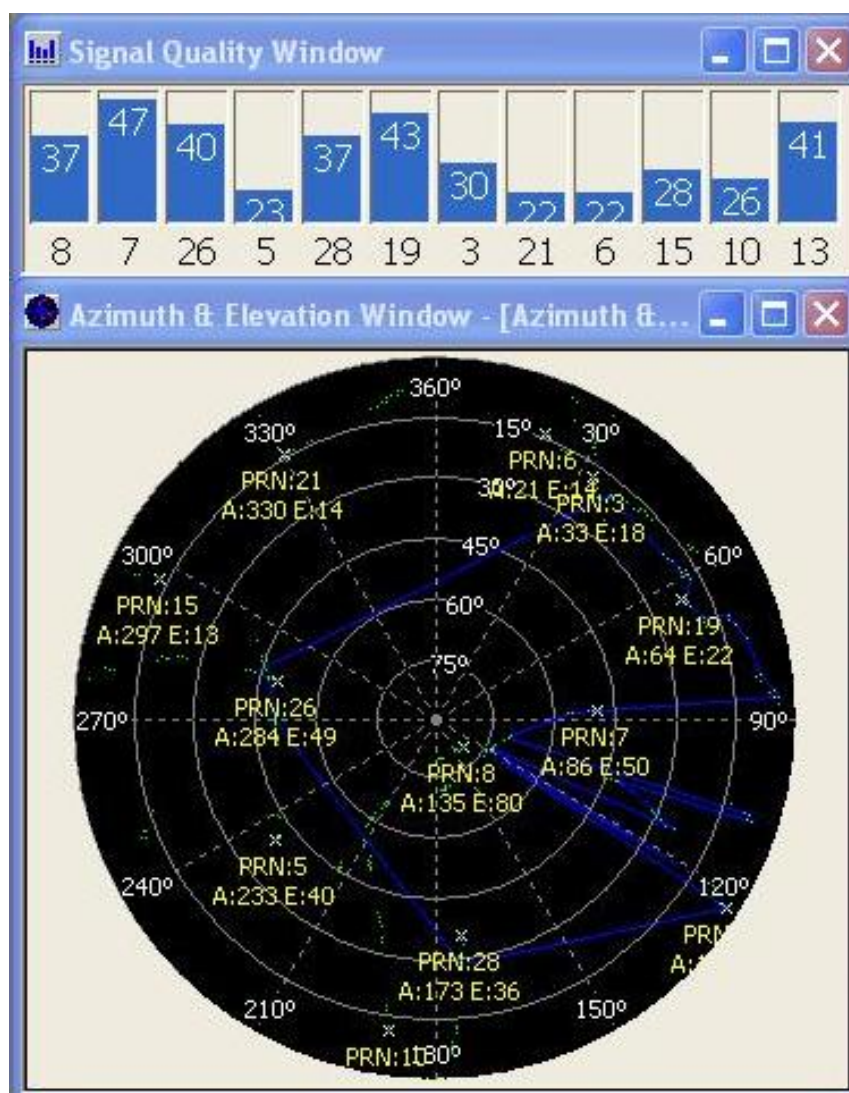
172 Azimuth-asteet

34 signaalin voimakkuus. Mitä korkeampi sen parempi. Tämä on viimeinen tieto ko. satelliitista ja seuraava luku kertoo jo seuraavan satelliitin tietoja.

10 toisen satelliitin PRN numero ja siitä eteenpäin on samat tiedot kuin edellä on mainittu.

4.4 Vastaanottimen tarkkuuden mittaus

Tarkkuuden mittausta varten tarvitsin ohjelman, jolla pystyy havainnoimaan mittauspisteitä. Verkosta on mahdollista ladata ilmainen GPS-mittausten tarkasteluun soveltuva ohjelma nimeltään VisualGPS. Se ei ole varsinainen kartta- tai navigointiohjelma, vaan sen tarkoituksena on graafisesti kuvata NMEA-lauseiden parametreja. Vastaanotin kytkettynä ohjelma näyttää tarkan sijainnin koordinaatteina, satelliittigeometrian, satelliittien signaalien voimakkuuden ja NMEA datan. Lisäksi sijainnin vaihtelua voi tarkastella pistekoordinaatistosta. Kuvassa 14 on esimerkki, kuinka ohjelma näyttää satelliittigeometrian ja signaalien voimakkuudet. Ohjelma soveltuu, kuten edellä mainittu, myös NMEA -datan purkuun. Vastaanottimen NMEA -lauseet voidaan mitausten jälkeen purkaa tietokoneelle ja ohjelma näyttää niistä graafisen esityksen.



KUVA 14. VisualGPS -ohjelman tuottama satelliittikartta

Tarkoituksena oli tarkastella ND-100S vastaanottimen tarkkuutta. Suoritin mittauksen 15 kertaa samalta paikalta noin parin minuutin välein. Jokaisen mittauksen välissä sammutin vastaanottimen ja aktivoisin sen uudelleen, jotta se etsisi sijaintinsa aina uudelleen, käyttämättä nykyistä sijaintia apunaan. Mittauksista tallensin NMEA-datan, jotka sitten latsin VisualGPS-ohjelmaan tulosten tarkastelua varten. Ohjelmalla pystyy tarkastelemaan usean NMEA-datan sisältöä ja ohjelma piirtää kuvan mukaisesti kaikki eri mittaukset samalle koordinaatti pohjalle. Seuraavassa kuvassa 15 nähdään selvästi, että sijainti vaihtelee jokaisella mittauskerralla, vaikka vastaanotin pysyi samalla paikalla.

5 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Sijaintipisteiden vaihtelu on kohtalaisen suuri, vaikka kuvassa 15 erot näyttävätkin vielä isommilta pisteiden ollessa kuitenkin huomattavan erillään toisistaan. Täytyy huomata, että koordinaatiston ruudukoiden välit ovat melko pienet eikä metreiksi muutettuna toisistaan uloimmat pisteet ole loppujen lopuksi kaukana toisistaan. Kuvan yhden neliskanttisen ruudukon sivunpituus metreiksi muutettuna on hyvin karkeasti noin viisi metriä.



KUVA 15. Mittaustulokset koordinaatistossa

Etelä- ja pohjoissuunnassa (latitudi) olevien toisistaan uloimpien pisteiden välinen ero on noin 30 metriä. Itä-länsi suunnassa (longitudi) eroa on noin 24 metriä. Etäisyydet sain selville verkosta löytyvillä tarkoitukseen sopivilla Java-pohjaisilla laskimilla. Käsien laskeminen olisi ollut työlästä ja käyttämälläni laskimilla tulos on luultavasti tarkempi. Käytin kolmen eri sivuston laskimia ja kaikki antoivat saman tuloksen yhden metrin erolla. Kahden sivuston kohdalla piti koordinaatit muuttaa muotoon asteet, minuutit ja sekunnit. Sekunnithan saadaan selville kertomalla asteiden desimaalit luvulla 60.

Esim. erään pisteen koordinaatit muodossa asteet, minuutit ja minuutin desimaalit ja alla muodossa asteet, minuutit ja sekunnit.

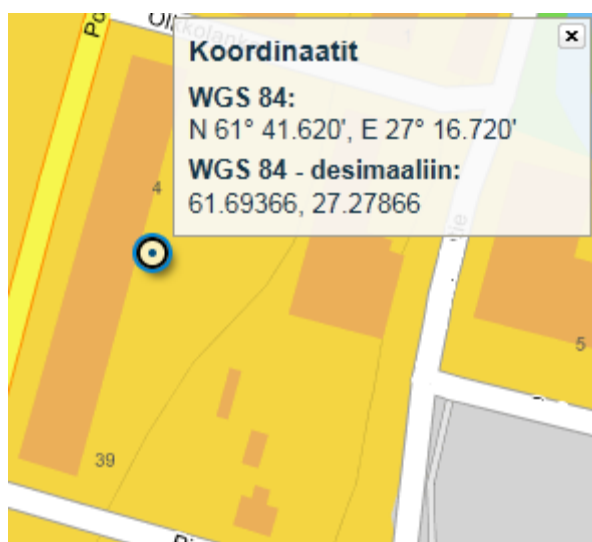
N 61 41.6286

E 027 16.7190

61° 41min 37,716s

027° 16min 43,14s

Edellisellä sivulla kuvassa 15 olevien mittauspisteiden keskellä oleva vihreä ympyrä kuvaa pisteiden keskiarvoa. Keskiarvoksi VisualGPS-ohjelma näyttää suurin piirtein leveysasteina 61° 41.6202 ja pituusasteina 27° 16.7174. Alla oleva kuva 16 on otettu eräästä karttapalvelusta, johon silmämääräisesti asetin pisteen, josta mittaukset suoritettiin. Pisteen sijainti kartalla ei välttämättä pidä täydellisesti paikkaansa, mutta on kuitenkin lähellä oikeaa kohtaa. Karttapalvelu antaa kuvassa näkyvät sijaintitiedot pisteelle, jotka ovat hyvin samankaltaiset mitattujen pisteiden keskiarvon kanssa.



Kuva 16. Eniron antamat koordinaatit mittauspisteelle [12]

Kuten aikaisemmin jo todettiin, vaihtelivat jotkin mittaustulokset aika rajusti paikasta toiseen. Tämä oli osaltaan odotettua, sillä mittaukset suoritettiin paikassa, jossa on rakennuksen seinämä muutaman metrin päässä. Aivan täyttä 180-asteen näkyvyyttä taivaalle ei siis ollut, mutta vähintäänkin riittävä. Pahimmillaan eri mittauspisteet heittelivät 25-30 metriä kauemmasta mittauspisteestä, johon uskon osaltaan ainakin kahden tekijän vaikuttavan. Ensimmäisenä virhelähteenä pidän monitieheijastusta, joka aiheutui rakennuksen seinästä kimmonneista signaaleista. Tämä saattoi hieman vaikuttaa paikannuksen tarkkuuteen. Toisena osasyllisen pidän seinän aiheuttamasta pienestä katveesta johtuvaa satelliittigeometrian heikkoutta. Toisaalta kun tarkastellaan

mittauspisteiden keskiarvoa, osuu tarkkuus hyvinkin lähelle oikeaa. Suurin osa mittaus tuloksista asettuikin lähelle keskiarvopistettä, joten kauimmaiset pisteet saattoivat olla vain satunnaisia heittoja.

Vastaanotin itse soveltuu hyvin navigointikäyttöön. Karttaohjelman avulla paikantimen kanssa tulee hyvin toimeen esimerkiksi veneilyssä. Kannettavan tietokoneen saa veneeseen melko helposti mukaan ja suurelta näytöltä, verrattuna perinteiseen navigaattoriin, on kartan seuraaminen helpompaa. Myös jatkokaapelin avulla, on paikannin helppo sijoittaa näkyvälle paikalle. Autolla ajaessa tietokoneen mukaan ottaminen ei ole järin kätevää verrattuna nykyajan navigaattoreihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli yleisellä tasolla kertoa GPS-paikannuksesta, suorittaa ND-100S-vastaanottimella tarkkuutta arvioivia mittauksia ja tutkia vastaanottimen toimintaa. SiRF Star 3 piirin toimintaperiaatteeseen olisin voinut uppoutua paljon suuremmalla mittakaavalla. Aiheesta ei kuitenkaan löytynyt kovinkaan käyttökelpoisia lähteitä ja tieto- ja taitotaso tuli vastaan. Muilta osin olen melko tyytyväinen työhön, vaikkakin GPS:stä olisi voinut kertoa huomattavasti enemmän. Kyseessä on kuitenkin hyvin laaja aihe.

Työ vaati melko runsaasti perehtymistä GPS-järjestelmään eikä tästä huolimatta siitä tullut siis kuin pintaa raapaistua. GPS ja navigointi on itselle tuttua lähinnä vain käyttäjän näkökulmasta. Järjestelmän toiminta ja eri osa-alueet ovat paikoin todella monimutkaisia. Matematiikan määrä on huikea ja siitä antaa hyvää osviittaa, kun silmäilee läpi Markku Poutasen teoksen GPS-paikanmääritys. Itse en aivan niin syvälle uppoutunut lukuun ottamatta paria kaavaa selventääkseni järjestelmän toimintaa noin yleisellä tasolla.

LÄHTEET

1. Poutanen, Markku. GPS-paikanmäärittäminen. Helsinki: Ursa. 1998.
2. Miettinen, Samuli. GPS-käsikirja. Helsinki: Genimap Oy. 2006.
3. Mobile Technology. WWW-dokumentti. <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/gps/images/img1.jpg>. Päivitetty 16.12.2004. Luettu: 23.04.2011.
4. Garmin - What is GPS? WWW-dokumentti. <http://www8.garmin.com/aboutGPS>. Päivitetty 19.3.2011. Luettu 19.03.2011.
5. Kowoma. WWW-dokumentti. <http://www.kowoma.de/en/gps>. Päivitetty 19.4.2009. Luettu 2.4.2011.
6. GPS-entry by Telematica. WWW-dokumentti. http://www.gpsentry.com/tech/GPS/gps_location.html. Päivitetty 2.4.2011. Luettu 2.4.2011.
7. Poutanen, Markku. GNSS-virhelähteet. PDF-dokumentti. www.fgi.fi/~mp/avaruusgeodesia05/GNSS_virhelahteet.pdf. Päivitetty 10.11.2005. Luettu 2.4.2011.
8. Tamminen, Jari-Pekka. Kellovirheet. WWW-dokumentti. <https://jop.cs.tut.fi/twiki/bin/view/TLTT/Kellovirheet>. Päivitetty 29.11.2009. Luettu 2.4.2011.
9. Aston GPS Tracking System. WWW-dokumentti. <http://astongps.com/GPS.html>. Päivitetty 1.4.2011. Luettu 2.4.2011.
10. Maanmittauslaitos. WWW-dokumentti. <http://etrs.nls.fi/node/47>. Päivitetty 1.3.2010. Luettu 22.4.2011.

11. Poutanen, Markku. Koordinaatistot. PDF-dokumentti.
www.helsinki.fi/~korpela/MINV12/koordinaatistot.pdf. Päivitetty 1.3.2006.
Luettu 22.4.2011.
12. Eniro kartat. WWW-dokumentti. <http://kartat.eniro.fi/>. Päivitetty 22.04.2011.
Luettu: 22.4.2011.
13. U.S. Department of Transportation. WWW-dokumentti.
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/02072/index.cfm>.
Päivitetty 7.4.2011. Luettu: 22.4.2011.
14. O'Reilly Wireless Devcenter. WWW-dokumentti.
http://www.oreillynet.com/wireless/2000/12/29/two_gps.html. Päivitetty
9.5.2001. Luettu 23.4.2011.
15. Raitaniemi, Janne. 2005. Paikannusmenetelmät. PDF-dokumentti.
http://www.trc.pori.tut.fi/Seminaarit/GIS/Kalvot/Henkilokohtainen/GIS_henki_lokohtainen_Raitaniemi.pdf. Päivitetty: 2.12.2005. Luettu 1.5.2011.
16. European Space Agency. WWW-dokumentti.
http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html. Päivitetty
16.3.2011. Luettu 26.3.2011.
17. eFrontier Australia. WWW-dokumentti.
<http://www.efrontier.com.au/magento/index.php/default>. Ei päivitystietoja.
Luettu 26.3.2011.
18. ND-100S Manuaali. PDF-dokumentti.
www.usglobalsat.com/store/download/590/nd100s_v1.0-manual.pdf. Päivitetty
24.3.2010. Luettu 24.4.2011.
19. RSC Components. PDF-dokumentti.
www.rcscomponents.kiev.ua/modules/Asers_Shop/images/datasheets/MG_S02.pdf. Päivitetty 30.10.2006. Luettu 21.05.2011.

20. The NMEA 0183 Protocol. PDF-dokumentti.

<http://www.elisanet.fi/master.navigator/nmeadescription.pdf>. Päivitetty
4.8.2001. Luettu 13.3.2011.

21. Euronav Navigation. WWW-dokumentti.

<http://www.euronav.co.uk/Products/Hardware/NMEAProducts.htm>. Päivitetty
1.10.2009. Luettu 13.3.2011.

ND-100S-VASTAANOTTIMEN TEKNISIÄ TIETOJA

11. ND-100S SPECIFICATIONS**Electrical Characteristics**

GPS Chipset	SiRF Star III e/LP
Frequency	L1, 1575.42 MHZ
C/A Code	1.023 MHz chip rate
Channels	20 all-in-view tracking
Sensitivity	-159 dBm

Accuracy

Position Horizontal	5m 2D RMS WAAS enabled 10m 2D RMS WAAS disabled
Velocity	0.1m/sec 95% (SA off),
Time	1 micro-second synchronized to GPS time

Datum

Datum	WGS-84
-------	--------

Acquisition Rate

Hot start	1 sec., average (with ephemeris and almanac valid)
Warm start	38 sec., average (with almanac but not ephemeris)
Cold start	42 sec., average (neither almanac nor ephemeris)
Reacquisition	0.1 sec. average (interruption recovery time)

Protocol

GPS Protocol	Default: NMEA 0183 (Secondary: SiRF binary)
GPS Output Data	NMEA 0183 MEA0183 V2.2 protocol, and supports command: GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL v2.2
GPS transfer rate	Software command setting (Default : 4800,n,8,1 for NMEA)

Dynamic Condition

Acceleration Limit	Less than 4g
Altitude Limit	18,000 meters (60,000 feet) max.
Velocity Limit	515 meters/sec. (1,000 knots) max.
Jerk Limit	20 m/sec**3

Temperature

Operating	-20°~ 70°C
Storage	-20°~ 80°C
Humidity	Up to 95% non-condensing

Power

Voltage	4.5 ~ 5.5V DC Input
Current	50mA typical

Physical Characteristics

Dimension	2.6"L x 0.9"W x 0.4"H (65.5L x 23W x 11H mm)
Unit Weight	0.04 lbs (20g)

Certifications

FCC	USA (Covers requirements for CANADA ICES-003)
CE	Europe

Due to continuous product improvements, all specifications are subject to change without notice.

SIRF STAR 3 PIIRIKAAVION KYTKENTÖJEN SELITYKSET

5. Board connections

Pin No	Signal name	I/O	Description	Note
1	VCC	I	Supply Voltage	
2	GND			
3	FREQXFEL	I	External CMOS clock source	
4	TXB	O	Serial outputs for channel B	
5	RXB	I	Serial inputs for channel B	
6	TIMEMARK	I/O	1 pps timemark output	
7	TXA	O	Serial outputs for channel A	
8	RXA	I	Serial inputs for channel A	
9	GPIO 14	I/O		Leave unconnected if not used
10	GPIO 4	I/O		Leave unconnected if not used
11	AMP-INTR	I/O	External Interrupt[0]	Alternate function is GPIO 10
12	RF-ON	I	Power control of RF chip.	Leave unconnected if not used
13	BootSel	I	Module boots into special debug mode if VCC during reset	Leave unconnected if not used
14	GND			
15	GND			
16	GND			
17	GND			
18	GND			
19	GND			
20	GND			
21	GND			
22	RF IN	I	GPSsignal from antenna	50Ω (1,57542GHz)
23	GND			
24	V-ANT0	O	Power supply out of Active antenna	

25	V-BAT	I	BackupVoltage supply for RTC and SRAM	Leave unconnected if not used
26	WAKE UP	OD	Wake up from RTC (Open Drain)	Leave unconnected if not used
27	RESET	I/O	Active low reset	Leave unconnected if not used
28	GPIO0	I/O		Leave unconnected if not used
29	GPIO1	I/O		Leave unconnected if not used

RESET

An external reset is initiated by pulling RESET low for at least 1 μ s. If not used, RESET can be left unconnected since there is an internal 10k pull-up resistor. RESET is also used in Push-to-Fix mode in order to wake up the unit and request a position fix. Minimum pulse width is 1 μ s.

BOOTSEL

The boot signal BOOTSEL forces special debug mode when restarted with a reset signal or power-up. If not used, BOOTSEL can be left unconnected since there is an internal 100k pull-down resistor.

RF IN

The line on the PCB from the antenna (or antenna connector) has to be a controlled impedance line (Microstrip at 50 Ω).

VBAT

This is the battery backup supply that powers the SRAM and RTC when power is removed. Without an external backup battery or on board battery, engine board will execute a cold start after every turn on. To achieve the faster start-up offered by a hot or warm start, either a backup battery must be connected or battery installed on board.

TIMEMARK

This pin provides one pulse per second output from the engine board which is synchronized to within one microsecond of GPS time. The output is TTL negative level signal with negative logic.