

Opinnäytetyö (AMK)

Tietoliikenne ja sähköinen kauppa

Ohjelmisto- ja järjestelmä tekniikka

2011

Jaakko Jalo

ESIVERTAILU ERILAISISTA
SATELLIITTIPAIKANNUSMENETELMISTÄ
MAASTOMITTAUKSEN JA
MAANRAKENNUKSEN TARPEISIIN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka | Ohjelmisto- ja järjestelmättekniikka

Toukokuu 2011 | 31

Ohjaajat: Jari-Pekka Paalassalo (TKL), Jukka Järvi-Laturi (hall pj)

Jaakko Jalo

ESIVERTAILU ERILAISISTA SATELLIITTIPAIKANNUSMENETELMISTÄ MAASTOMITTAUKSEN JA MAANRAKENNUKSEN TARPEISIIN

Paikannuksella tarkoitetaan jonkin kohteen sijainnin selvitystä halutun koordinaatiston suhteen. Satelliittipaikannus taas tarkoittaa kiertoradalla olevan satelliitin lähettämän radiosignaalin avulla tapahtuvaa paikannusta.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää maanmittauksessa ja rakennusalalla käyttökelpoisten satelliittipaikannusmenetelmien toimintaperiaatteita.

Satelliittinavigointijärjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan: avaruussegmenttiin, joka kattaa kiertoradalla olevat satelliitit, kontrollisegmenttiin, joka kattaa satelliittien valvontaan ja ohjaukseen tarvittavat järjestelmät, sekä käyttäjäsegmenttiin, joka tarkoittaa kaikkia vastaanottimia, jotka käyttävät satelliittien signaalia paikantamisessa.

Paikannus tapahtuu satelliitista lähetettävän signaalin avulla mittaamalla aika, jonka signaali on ollut matkalla. Kun tämä mittausta tehdään vähintään neljälle tai kolmelle mikäli mittaajalla on käytössä oikein kalibroitu atomikello, saadaan kolmiomittauksella laskettua mittaajan oma sijainti. Satelliitin lähettämässä signaalissa on mukana satelliitin tarkka sijainti kiertoradalla, kellon aika lähetyshetkellä, karkeata kiertoradadataa muille kyseisen järjestelmän avaruussegmenttiin kuuluville satelliiteille ja järjestelmästä riippuen muita viestejä käyttäjälle.

Edellä mainitulla menetelmällä saadaan paikannettua mittaajan vastaanotin suotuisissa olosuhteissa kymmenien metrien tarkkuudella, mikä ei riitä erikoisalojen tarpeisiin. Tämän tähden erilaisia menetelmiä mittaustarkkuuden parantamiseen on kehitetty. Näitä ovat mm. differentiaalikorjaus ja reaaliaikainen kinemaattinen mittausta. Pääpiirteissään kaikki toimivat samalla periaatteella. Tunnetussa sijainnissa oleva vastaanotin laskee vastaanottamiensa signaalien perusteella oman sijaintinsa ja vertaa saatua tulosta todelliseen sijaintiinsa. Tällä pystytään laskemaan satelliittien signaalissa oleva virhe, joka sitten välitetään käyttäjien vastaanottimeen erinäisin menetelmin.

ASIASANAT:

satelliittipaikannus, DGPS, RTK.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Information Technology | Software Engineering

May 2011 | 31

Instructors: Jari-Pekka Paalassalo, Lic.Sc.(Tech.), Principal Lecturer, Jukka Järvi-Laturi, COB

Jaakko Jalo

COMPARISON OF DIFFERENT SATELLITE POSITIONING METHODS FOR USE IN SURVEYING AND CONSTRUCTION

Positioning means measuring the location of a certain point in relation to the used coordinate system. Satellite positioning means acquiring these coordinates through the measurement of signals sent from orbiting satellites.

The purpose of this thesis was to explain the satellite positioning methods that are usable in surveying and construction.

Satellite positioning system can be divided into three segments: space, control and user. Space segment consists of all satellites in the constellation of the particular system. Control segment consists of the stations and equipment needed to oversee and, if necessary, apply corrections to the space segment. User segment consists of all the receivers that make use of the signal from satellites to locate the measurer.

The basic principle of satellite positioning is measuring the time the signal has been en route from the satellite. By measuring the distance to four different satellites, only three required if the measurer has properly calibrated atomic clock in use, it becomes possible to calculate the position of the receiver through trilateration. Satellite signal includes the precise location of the satellite, time when the signal was sent and crude ephemeris data about other satellites in the constellation. Other user messages in the signal are also possible but these vary between the different systems.

With the aforementioned methods the receiver can be located with precision of tens of meters which, while sufficient for basic navigation, is not precise enough for special fields utilizing satellite positioning. Therefore, different systems for improving the precision of measured location have been developed. These include differential corrections and real-time kinematic measurements. All of these basically work in the same way: a receiver in a known location calculates its own position according to the satellite signals and then compares the result to the actual location. Thus the error in the signal can be solved. This error is then delivered to the user receiver through various means.

KEYWORDS:

satellite positioning, DGPS, RTK.

Sisältö

ESIVERTAILU ERILAISISTA SATELLIITTIPAIKANNUSMENETELMISTÄ MAASTOMITTAUKSEN JA MAANRAKENNUKSEN TARPEISIIN.....	ii
COMPARISON OF DIFFERENT SATELLITE POSITIONING METHODS FOR USE IN SURVEYING AND CONSTRUCTION.....	iii
KÄYTETYT LYHENTEET.....	v
1. Johdanto.....	1
2. Global Navigation Satellite System.....	3
2.1 Satelliittipaikannus.....	3
2.1.1 Näennäisetäisyys.....	5
2.1.2 Etäisyyden mittaus satelliiteilla.....	5
2.1.3 GPS-signaali.....	8
2.2 GNSS järjestelmiä.....	10
2.3 Satelliittipaikannuksen tarkkuuden parantaminen.....	14
2.4 DGPS järjestelmiä.....	15
2.5 Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus	16
2.6 Verkko-RTK.....	20
2.6.1 Flächen-Korrektur Parameter (FKP).....	20
2.6.2 Virtual Reference Station (VRS).....	20
2.6.3 Master Auxiliary Corrections (MAC)	21
2.6.4 Individualized Master Auxiliary Corrections (i-MAC)	21
3. Muita paikannusmenetelmiä.....	21
3.1 GSM-paikannus.....	21
3.2 Nokia High Accuracy Indoor Positioning.....	22
3.3 Kulmamittaus.....	22
4. Yhteenveto.....	23
LÄHTEET.....	24

KÄYTETYT LYHENTEET

AGPS	Avustettu GPS. Matkapuhelinverkossa oleva apupalvelin avustaa GPS vastaanottimen sijainnin tarkennuksessa (Assisted GPS)
Beidou	Kiinan hallituksen GNSS. Käyttää myös nimeä Compass (Beidou Navigation System)
C/A-koodi	Salaamaton, siviilikäyttöön tarkoitettu PRN-koodi (Coarse/Acquisition)
DGPS	Differentiaalikorjauksia GNSS mittaustuloksiin tarjoava palvelu (Differential Global Positioning System)
DOP	Seurattavien satelliittien sijoittumista taivaalla suhteessa vastaanottimeen kuvaava arvo (Dilution of Precision)
EGNOS	Euroopan kattava DGPS-palvelu (European Geostationary Navigation Overlay Service)
GBAS	Differentiaalikorjauksia maa-asemien välityksellä vastaanottimille tarjoava tekniikka (Ground Based Augmentation Systems)
GLONASS	Venäjän hallituksen GNSS (GLObal NAVigation Satellite System)
GNSS	Yläkäsite koko maailman kattavalle satelliittinavigointi järjestelmä (Global Navigation Satellite System)
GPS	Yhdysvaltojen ilmavoimien ylläpitämä GNSS (Global Positioning System)
MEO	Alue avaruudessa jonka etäisyys Maasta on yli 2 000 km mutta alle geostationaarisen radan. (35 786 km korkeudessa). (Medium Earth Orbit)
MSAS	Japanin kattava DGPS-palvelu (Multi-functional Satellite Augmentation System)
OTF	Reaaliajassa suoritettu toiminto (On-the-Fly)
ppm	miljoonasosa (Parts Per Million)
PRN	Näennäissatunnainen melu. Jokaisen satelliitin yksilöivä koodi (Pseudo Random Noise)
P-koodi	Salattu, vain Yhdysvaltojen armeijan käyttöön tarkoitettu PRN-koodi (Precise)
RMS	Neliöllinen keskiarvo (Root Mean Square)
RTCM	Kansainvälinen standardointijärjestö (Radio Technical Commission for Maritime Services)

RTK	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. Tarvitsee vähintään kaksi vastaanotinta, yksi toimii liikkuvana, toinen toimii tukiasemana ja lähettää differentiaalikorjausdataa kun se sijaitsee ennestään tunnetussa sijainnissa (Real-Time Kinematic)
SBAS	Differentiaalikorjauksia satelliitin välityksellä vastaanottimille tarjoava tekniikka (Satellite Based Augmentation Systems)
SISNeT	Euroopan Avaruusjärjestön hanke, jossa EGNOS-palvelun differentiaalikorjaukset ovat käytettävissä internetin kautta (Signal-in-Space through the Internet)
SMS	Matkapuhelimissa käytetty tekstiviesti järjestelmä (Short Message System)
UHF	Mikroaaltojen taajuusalue 0,3 – 3 GHz (Ultra High Frequency)
VRS	Virtuaalinen tukiasema joka korvaa RTK:ssa käytetyn tukiaseman (Virtual Reference Stations)
WAAS	Yhdysvaltojen ilmailulaitoksen kehittämä Pohjois-Amerikan kattava DGPS-palvelu (Wide Area Augmentation System)

1. Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on selvittää rakennusalalla ja maanmittauksessa käytettäviä yleisiä paikannustekniikoita, painottaen satelliittipaikannusta erityisesti. Tämän lisäksi työn toimeksiantajalle tehdään luottamuksellinen hintavertailu eri yritysten tekniikoista ja palveluista jotka ovat käyttökelpoisia toimeksiantajan tulevassa tuotekehityksessä. Tässä luottamuksellisessa osiossa käsitellään edellä mainitun hintavertailun lisäksi alan nykytilannetta, tulevaisuuden näkymiä ja alustavia toteutusehdotuksia. Tämä työ toimii johdantona itse varsinaiselle suunnittelutyölle.

Paikannuksella tarkoitetaan tarkasteltavan kohteen sijainnin selvittämistä jonkin koordinaatiston suhteen, normaalisti maantieteellisen koordinaatiston. Puhekielessä paikka ja sijainti ymmärretään yleensä synonyymeiksi, mutta kirjaimellisesti paikkaa tarkoittaa puhekielessä maaston kohtaa, aluetta, seutua, tienoota tai paikkakuntaa [1] kun taas sijainti tarkoittaa maantieteellisesti tarkkaa paikkaa [2]. Paikannus tarkoittaa sijainnin määrittystä [2].

Sijainti voidaan ilmaista joko maantieteellisesti tarkalla koordinaatistolla tai suhteellisella sijainnilla johonkin muuhun sijaintiin.

Paikannus on kauan tarkoittanut lähes yksinomaan navigaatiota. Maamerkkien ja taivaankappaleitten tuntemus oli ensimmäisiä navigaatioissa käytettyjä menetelmiä. Magneettisen kompassin, kellon ja sekstantin kehitys edisti paikannuksen kehitystä merkittävästi auttaen tarkempien karttojen teossa niin maalla kuin merellä. Valomajakat ovat olleet pitkään merkittävässä asemassa merellä navigoidessa. [37]

1900-luvulta alkaen on pyritty kehittämään radioon perustuvia navigointijärjestelmiä, joissa hyödynnetään tunnetuissa paikoissa olevien radiomajakoiden lähettämää signaalia paikannuksessa. Tähän perustuu myös nykyinen satelliittipaikannus. [37]

GPS oli ensimmäinen nykymuotoinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Sen edeltäjien kehitys alkoi 1950-luvulla. Vuonna 1973 NavStar GPS sai virallisesti alkunsa. [13, 14]

Yleisin käytetty paikannustapa tänä päivänä on satelliittipaikannus, jossa kolmiomittaamalla lasketaan vastaanottimen sijainti useasta eri satelliitista näiden lähettämän signaalin perusteella.

Satelliittipaikannusta käytetään merenkulussa, ilmailussa, auto- ja käsinavigaattoreissa, moderneissa matkapuhelimissa, maaperätutkimuksessa, geologiassa, arkeologiassa sekä rakennus- ja maanmittausalalla. [37]

Maanmittauksessa ja rakennusalalla on käytössä GNSS-järjestelmien lisäksi perinteisempiä menetelmiä: kulman mittauskojeita ja erilaisia keinoja etäisyyksien mittaukseen satelliittipaikannusjärjestelmien rajoitusten vuoksi. Teodoliitit, takymetrit, elektro-optiset etäisyysmittarit ja mittanauhat ovat edelleen arkipäivää rakennus- ja maanmittausalalla. [30]

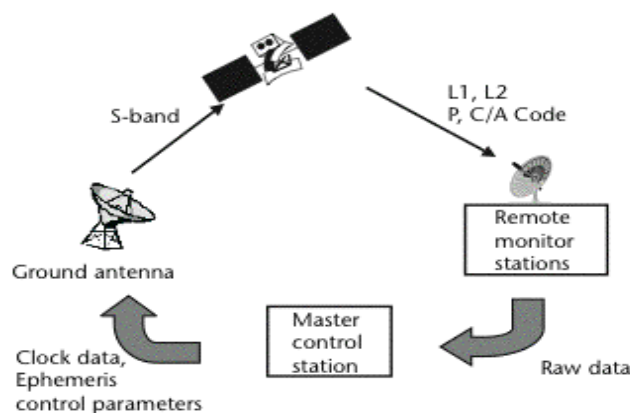
2. Global Navigation Satellite System

Global Navigation Satellite System (GNSS) on yläkäsite satelliittinavigointijärjestelmille, joita käytetään käyttäjän maantieteellisen sijainnin selvittämiseksi missä tahansa maapallolla. GNSS-termiä ei ole vielä tarkkaan määritelty mutta edellä mainittu määrittelee sen yksinkertaisimillaan.[4]

GPS-nimitystä käytetään kuitenkin laajalti kun puhutaan GNSS-järjestelmistä, koska USA:n ilmavoimien NavStar GPS oli ensimmäinen ja pitkään ainut käytössä ollut järjestelmä. Tällä hetkellä täydessä käytössä on ainoastaan Yhdysvaltojen NavStar GPS. Venäjän GLONASS-järjestelmä on osittain käyttökelpoinen, sitä ollaan vielä saattamassa toimintakuntoon mutta erinäiset tekniset ongelmat ovat aiheuttaneet viivästyksiä. Euroopan unionin Galileo-järjestelmä on kehitteillä tällä hetkellä kuten myös Kiinan Compass Satellite Navigation System. Kaikki neljä järjestelmää tulevat olemaan yhteensopivia. [5]

2.1 Satelliittipaikannus

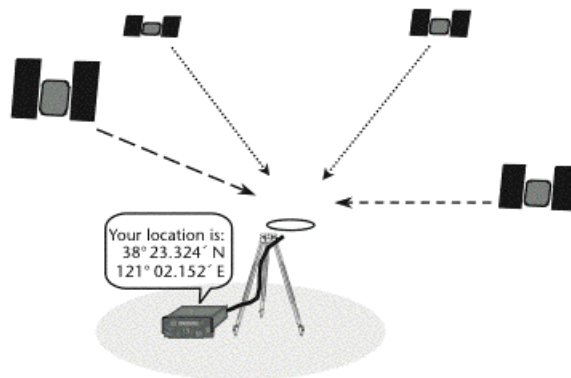
GNSS-järjestelmässä satelliitit lähettävät signaalia jonka perusteella vastaanotin pystyy laskemaan näennäisetäisyyden lähettävään satelliittiin. Laskemalla näennäisetäisyys neljään satelliittiin saadaan kolmiomitattua vastaanottimen sijainti kolmessa ulottuvuudessa (kuva 1). Neljäs satelliitti on mahdollista korvata riittävän tarkalla oikein kalibroidulla atomikellolla. [6]



Kuva 1: Kontrollisegmentin toiminta. [3]

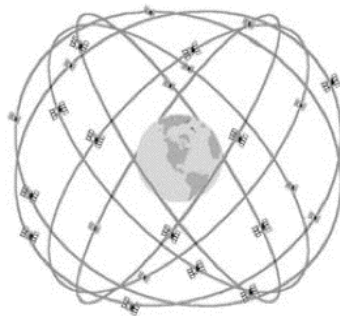
GNSS koostuu pääpiirteittäin kolmesta osasta: avaruussegmentistä, kontrollisegmentistä ja käyttäjäsegmentistä.

Avaruussegmentti tarkoittaa kaikkia satelliitteja, joissa on GNSS-signaalin lähettämiseen tarvittava hyötykuorma. Nämä kattavat koko maapallon vuorokauden ympäri (kuva 2). [7, 8]



Kuva 2: GNSS järjestelmän perustoimintaperiaate [3]

Kontrollisegmentti tarkoittaa maa-asemia jotka seuraavat satelliitteja ja välittävät havaintonsa keskusohjausasemalle. Keskusohjausasema pitää huolen siitä että satelliitit pysyvät oikeilla kiertoradoillaan antamalla komentoja pieniin ohjausliikkeisiin, korjaa virheitä satelliittien kelloissa sekä laitteistossa, siirtää navigaatiodataa jokaiselle satelliitille konstellaatioissa sekä ohjauskomennoin suorittaa suuret radan muutokset viallisten satelliittien kohdalla. Nämä komennot lähetetään takaisin satelliiteille antennilla, joita on osassa maa-asemista. (Kuva 3). [7, 8]



Kuva 3: Täysi NavStar GPS satelliitti muodostelma: 24 satelliittia kuudella kiertoratatasolla, neljä satelliittia jokaisella, 20200 km korkeudessa 55 asteen inkliinaatiokulmassa päiväntasaajalta. [3]

Käyttäjäsegmentillä tarkoitetaan itse GPS-vastaanotinta. Tähän kuuluu signaalin vastaanottoon tarvittava laitteisto, käyttöliittymä ja mahdolliset ohjelmat navigaatiotietojen jatkokäsittelyyn (kuva 4). [7, 8]



*Kuva 4: Garmin eTrex
Käsinavigaattori (Garmin Oy)*

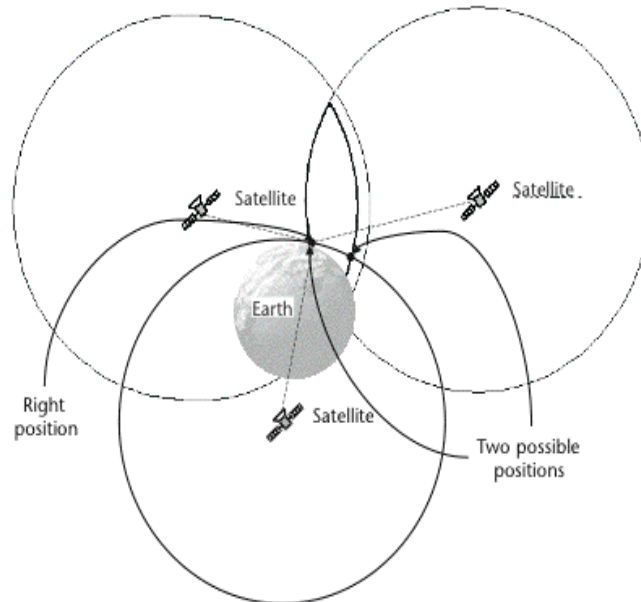
2.1.1 Näennäisetäisyys

Koska sekä lähettimen että vastaanottimen kellojen täydellinen synkronointi on käytännössä mahdotonta on käytettävä termiä näennäisetäisyys, kun puhutaan satelliitin ja vastaanottimen välisestä matkasta. Jo 1 μ s:n virhe kelloissa tarkoittaa noin 300 m:n virhettä itse sijainnissa. [9]

2.1.2 Etäisyyden mittaus satelliiteilla

Vastaanottimen sijainnin selvitys tapahtuu määrittämällä etäisyys vähintään neljään eri satelliittiin, kun tiedetään, millä nopeudella signaali etenee. Signaalin mukana lähetettävä navigaatioviesti sisältää tiedon satelliitin omasta sijainnista. Vastaanotetusta signaalista määritetään näennäisetäisyys satelliittiin, jolloin tiedetään, että vastaanotin on kuvitteellisen pallon pinnalla, jonka keskipiste seurattava satelliitti on ja jonka säde on yhtäkuin mitattu näennäisetäisyys. Kun vastaava mittaus on tehty samanaikaisesti toiselle satelliitille, on silloin kaksi palloa seurattavien satelliittien ympärillä, joiden pallojen pintojen leikkauspisteissä vastaanotin voi sijaita. Kun vastaava mittaus tehdään kolmanteen satelliittiin, saadaan kaksi mahdollista sijaintia vastaanottimelle joista toinen ei enää sijaitsee maapallolla. Tämä epärealistinen sijainti

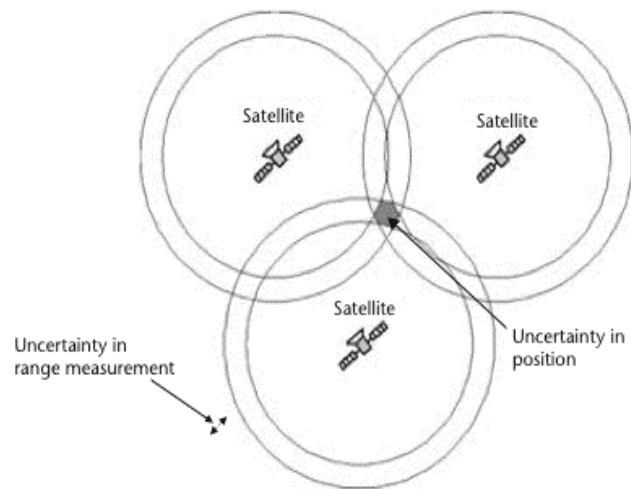
voidaan täten jättää pois. Jos ajatellaan Maata neljäntenä satelliittina, voitaisiin sijainti paikallistaa vain kolmella satelliitilla (kuva 5). [9]



Kuva 5: Näennäisetäisyys kolmesta satelliitista. [3]

Tämä ei kuitenkaan auta vastaanottimen oman kellon mahdollisen virheen selvittämisessä.

Ongelma tässä kohtaa on vastaanottimen kellon tarkkuus sekä ilmakehän mahdolliset häiriöt. Koska atomikello olisi liian kallis ja kooltaan epäkäytännöllinen kannettavaan vastaanottimeen, käytetään näissä yleensä vain kvartsikidekelloa minkä tarkkuus sekä luotettavuus eivät riitä mittauksiin, joissa jo 1 ns:n virhe tarkoittaa noin 30 cm:n virhettä tuloksessa. Kun kaikki mittaukset tehdään samanaikaisesti on niissä kaikissa myös saman veroinen virhe (kuva 6). Kun mitataan näennäisetäisyys neljänteen satelliittiin voidaan tarkistaa sopiiko saatu tulos aiempiin kolmeen tulokseen. Mikäli tulokset eivät sovi yhteen, neljännen satelliitin mittaustuloksella saadaan laskettua mikä vastaanottimen ajan kuuluisi olla, jolloin kaikkien neljän satelliitin näennäisetäisyydet käyvät yksiin. Täten on saatu vastaanottimen kello synkronoitua satelliittien atomikellojen kanssa. Tämä tekee vastaanotimesta samalla myös edullisen atomikellon. [9]



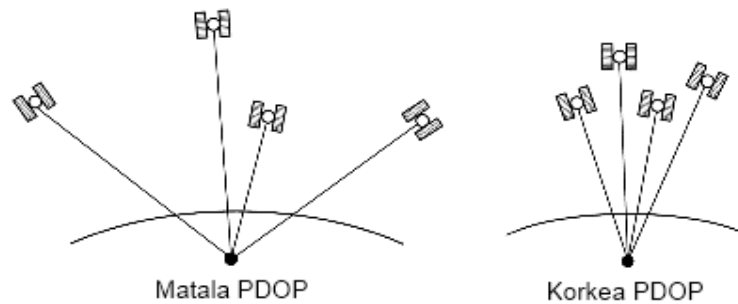
Kuva 6: Virheet näennäisetäisyydessä siirtyvät suoraan virheisiin sijainnissa [3]

Jos käytetään GPS- ja GLONASS-satelliitteja molempia, täytyy ottaa laskuihin vähintään viisi satelliittia jotta voidaan ottaa huomioon eri järjestelmien aikaerot. Tämä tulee koskemaan kaikkia GNSS-järjestelmiä koska jokainen näistä käyttää omanlaistaan tietoformaattia ja aikadataa. Tämän ylimääräisen satelliitin vaatimuksen vastapainona on huomattavasti suurempi määrä seurattavissa olevia satelliitteja millä päästään tarkempiin tuloksiin. [9]

Näennäisetäisyyden mittauksessa ilmenevä epätarkkuus tarkoittaa vastaavan suuruista epätarkkuutta itse lasketussa sijainnissa. Tätä voidaan tarkentaa erilaisin menetelmin mm. DGPS:llä joko jälkikorjauksina tai reaaliajassa OTF .

Sijainnin tarkkuuteen vaikuttaa myös seurattavien satelliittien geometria jota ilmaistaan arvolla DOP tai GDOP (Geometric Dilution of Precision) kirjallisuudessa. DOP tarkoittaa siis näkyvissä olevien satelliittien sijoittumista taivaalla suhteessa vastaanottimeen. [10]

Kun näkyvissä olevat satelliitit näkyvät lähellä toisiaan, on DOP-arvo korkea, mikä merkitsee suurempaa virhemarginaalia. Jos näkyvät satelliitit ovat levittäytyneet tasaisesti taivaalle, on DOP-arvo matala ja samoin tästä johtuva virhemarginaali on myös pieni (kuva 7). Tätä nykyään DOP ei ole enää kovin suuri virhelähde koska taivaalla näkyvien satelliittien määrä on niin suuri mutta sitä ei myöskään voida täysin sulkea pois mikäli mittaus tehdään katveessa jossa ei ole koko taivasta näkyvissä. [10]



Kuva 7: Esimerkki hyvästä ja huonosta seurattavien satelliittien jakautumisesta taivaalla. [3]

DOP arvo on jaettu TDOP arvoon, joka kuvastaa mitattujen aika-arvojen huonosta sijoittumisesta johtuvaa mahdollista virhettä, ja PDOP arvoon, joka kuvastaa näennäisetäisyyksien virhettä joka johtuu seurattavien satelliittien epäedullisesta sijoittumisesta taivaalla. GDOP tarkoittaa näiden kahden arvon yhdistelmää. [10]

2.1.3 GPS-signaali

GPS-signaali koostuu kantaallosta, johon moduloidaan PRN-koodi. Tämä PRN-koodi on joko C/A-koodi tai P-koodi. C/A-koodi on hyvin lyhyt ja toistuu joka millisekunti, P-koodi taasen on niin pitkä, että se toistuu vasta viikon välein. Jokaisella satelliitilla on oma PRN-koodi joka on helppo erottaa muiden satelliittien vastaavasta. Tämä toimii satelliitin tunnisteena. [11]

C/A- ja P-koodeihin moduloidaan itse navigaatio- ja systeemiviestit. Nämä viestit sisältävät satelliitin tarkan ajan, satelliitin terveydentilan (käyttökelpoinen vai ei), efemeridin satelliitin tarkasta sijainnista, mahdollisesti ilmakehän dataa sekä almanakan joka sisältää kaikkien konstellaatioon kuuluvien satelliittien terveydentilan, karkean efemeridin näiden sijainnista, karkeata aikadataa sekä UTC-laskelmia ja mahdollisesti käyttäjäviestejä. Almanakan tietoja voidaan käyttää avuksi muiden satelliittien signaalien haussa, vastaanottimen oman kellon oikeassa ajassa pitämisessä ja päätettäessä mitä satelliitteja voidaan käyttää paikannukseen. [11]

Jokainen PRN-koodi on talletettu vastaanottimen muistiin. C/A-koodi on kaikkien käytössä, kun P-koodi on varattu lähinnä armeijan käyttöön. Vastaanotin vertaa vastaanotettua PRN-koodia muistissaan olevaan viivytämällä omaa kappalettaan kunnes kumpikin koodi täsmää. Tämä viive kertoo sen, kuinka kauan signaalilla on ollut

matkalla ja tästä saadaan näennäisetäisyys satelliittiin laskettua. PRN-koodi on tarkoituksella tehty helposti tunnistettavaksi ja muiden satelliittien signaaleista erottuvaksi vertailun helpottamiseksi. [11]

Kantoaaltoa voidaan myös käyttää hyväksi paikannustuloksen parantamisessa. Kantoaallon mittaamisen tekee huomattavasti vaikeammaksi signaalin vaiheen vertailu koska jokainen sykli on identtinen edellisen kanssa. Tätä varten, käytettäessä kantoaaltoa näennäisetäisyyden mittaukseen, on oltava käytössä tukiasema, jonka sijainti tiedetään riittävän tarkasti. Lukittuaan seurattavan satelliitin signaaliin tukiasema mittaa kantoallon vaiheen ja alkaa tästä hetkestä eteenpäin laskemaan kantoallon kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää. Seurattaessa useampaa satelliittia jonkin aikaa kun nämä liikkuvat kiertoradalla, saadaan selville kokonaisten aaltojen lukumäärää satelliitin ja tukiaseman välillä mistä saadaan huomattavasti tarkempi näennäisetäisyys satelliittiin laskettua.

Tukiasema välittää itse mittaamansa pseudoetäisyyden, siinä havaitsemansa virheen ja kantoallon vaiheen liikkuvalla vastaanottimelle. Tämän tiedon perusteella liikkuva vastaanotin laskee oman sijaintinsa jopa alle senttimetrin tarkkuudella. [12]

GPS-signaaleja lähetetään tällä hetkellä kolmella taajuudella: L1 sisältää sekä C/A-koodin että P-koodin, L2 sisältää vain P-koodin ja kesäkuussa 2010 käyttöön otettu L5, joka on tarkoitettu pääasiassa vain siviilikäyttöön. L5-taajuutta on tarkoitettu käyttä turvallisuu den kannalta tärkeissä sovelluksissa kuten ilmailussa ja pelastustoiminnassa. L5-taajuus on vielä kokeiluasteella. [12]

Satelliittipaikannusmenetelmät voidaan jakaa kolmeen eri metodiin: absoluuttiseen, differentiaaliseen ja suhteelliseen paikanmääritykseen.

Absoluuttisessa paikanmäärityksessä käytetään yhtä, yleensä käsinavigaattoria, paikannukseen. Vastaanotin seuraa ainoastaan C/A-koodia ja tarvitsee vähintään neljä satelliittia sijaintinsa selvitykseen. Tässä ei käytetä mitään korjausdataa joten mittaustarkkuus liikkuu kymmenen metrin luokassa useimmissa tapauksissa. [12]

Differentiaalisessa paikanmäärityksessä mittaustulosta parannetaan differentiaalikorjauksella. Tunnetussa sijainnissa oleva mittausasema selvittää satelliitin näennäisetäisyyden mittauksessa olevan virheen ja tämä tieto välitetään sitten vastaanottimelle joko radiolla, matkapuhelinverkolla tai jälkilaskentana. Tällä

menetelmällä päästään alle viidestä metristä puolen metrin tarkkuuteen. [12]

Suhteellinen paikanmääritys käyttää GPS-signaalin kantoaaltoa hyväkseen sijainnin selvityksessä. Tämä vaatii kaksi vastaanotinta, tunnetulla sijainnilla olevan tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen. Tukiasema selvittää kantoaallon vaiheen ja muut virheet jotka välitetään sitten liikkuvalla vastaanottimelle. [12]

Suhteellinen paikanmääritys voidaan jakaa vielä kahteen eri menetelmään: staattiseen ja reaaliaikaiseen paikanmääritykseen. Staattisessa virhe ja kantoaallon vaihe lasketaan mittaustuloksiin jälkikäteen, reaaliaikaisessa kinemaattisessa mittauksessa nämä tiedot välitetään saman tien joko radion tai matkapuhelinverkon välityksellä liikkuvalla vastaanottimelle. [12]

2.2 GNSS järjestelmiä

NavStar GPS on USA:n ilmavoimien ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä joka tarjoaa luotettavaa paikka- ja aikatietoa kelle tahansa jolla on GPS-vastaanotin, säästä, ajasta tai paikasta riippumatta. GPS-järjestelmään kuuluu tällä hetkellä 32 satelliittia, 6 valvonta-asemaa jotka passiivisesti seuraavat järjestelmän satelliitteja, 1 keskusohjauslaitos ja 4 maa-antennia datan ja korjausten välittämiseksi takaisin satelliiteille. [13, 14]

1950-luvun lopulla tutkija John Hopkinsin yliopistossa kehitti tavan käyttää satelliitista lähtöisin olevaa signaalia Yhdysvaltojen laivaston laivojen ja sukellusveneiden paikannukseen. [13, 14]

1960-luvun puolivälissä Yhdysvaltojen ilmavoimat aloittivat ohjelman jossa erittäin tarkkoilla kelloilla varustetut satelliitit lähettivät signaalia jonka perusteella maalla tai ilmassa olevat kulkuneuvot voisivat paikallistaa itsensä. [13, 14]

1973 Yhdysvaltojen meri- ja ilmavoimat yhdistivät nämä projektinsa yhdeksi navigaatio teknologiaohjelmaksi josta myöhemmin kehityi itse NavStar Global Positioning System joka on tänä päivänäkin käytössä. [13, 14]

Galileo (viralliselta nimeltään Galileo Positioning System) on EU:n ja ESA:n yhdessä kehittämä Euroopan oma siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä joka toimii NavStar GPS:än ja GLONASS:in rinnalla tarjoten sijaintitietoa jopa yhden metrin

tarkkuudella. Järjestelmää alettiin kehittää jotta lentokoneiden, merialusten, pelastuspalveluiden ja muiden satelliittipaikannuksesta riippuvaisten kulkuvälineiden tai järjestelmien toiminta ei olisi riippuvainen USAn tai Venäjän järjestelmistä joiden käytön molemmat maat voivat estää halutessaan. [15]

Järjestelmä tulee sisältämään MEO-radalla 30 satelliittia joista 27 toiminnassa ja 3 varalla ja signaali tulee kattamaan maapallon aina 75. leveyspiirille. Järjestelmän kontrollisegmenttiin kuuluu kaksi keskusohjausasemaa ja 20 seuranta-asemaa, 5 S-taajuuksista ja 10 C-taajuuksista maasatelliittiyhteyttä eri puolilla maapalloa tiedon välittämiseen satelliiteille. [15]

Vuonna 2011 on tarkoitus saada taivaalle neljä toimintakuntoista satelliittia mikä on minimivaatimus paikannuspalveluille. Näillä tullaan varmistamaan järjestelmän konseptien toimivuus sekä avaruudessa että maassa. [15]

GLONASS (ГЛОНАСС; ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система, *GLONASS; GLObalnaja NAvigatsionnaja Sputnikovaja Sistema*) on neuvostoliiton alulle panema satelliittipaikannusjärjestelmä jonka tarkoitus ja toimintaperiaate vastaa USA:n GPS-järjestelmää. Järjestelmä saatiin valmiiksi vuonna 1995 mutta neuvostoliiton hajoamisen myötä meni nopeasti käyttökelvottomaksi huollon puutteessa. [16]

2001 Venäjä otti tavoitteekseen palauttaa järjestelmän taas toimintakuntoon. Järjestelmä tulee kokonaisuudessaan sisältämään 24 satelliittia, joista kolme on varalla. Maaliskuussa 2010, GLONASS:iin kuuluu 23 satelliittia joista 18 on toimintakykyisiä, kolmea ollaan ottamassa käyttöön ja kahta huolletaan. Järjestelmä tarvitsee 18 satelliittia kattaakseen Venäjän alueen ja 24 kattaakseen koko maailman. [16]

Beidou-1 on paikallinen satelliittijärjestelmä jossa geosynkronisella radalla 4 satelliittia tarjoaa paikannuspalveluita Kiinaan ja sen lähialueille. Muista GNSS-järjestelmistä poiketen satelliitit ja vastaanottimet lähettävät ja vastaanottavat signaaleja. Toimintaperiaate on seuraava:

1. Vastaanotin lähettää satelliiteille signaalin.
2. Jokainen järjestelmään kuuluva satelliitti vastaanottaa signaalin.
3. Jokainen satelliitti lähettää tiedon koska se vastaanotti signaalin pääkeskusasemalle maahan.
4. Pääkeskusasema laskee pituus- ja leveyspiirin vastaanottimelle ja tarkistaa korkeuden erillisestä kartasta.
5. Pääkeskusasema lähettää vastaanottimen 3D-sijainnin satelliiteille.
6. Satelliitit lähettävät tämän tiedon takaisin vastaanottimelle.

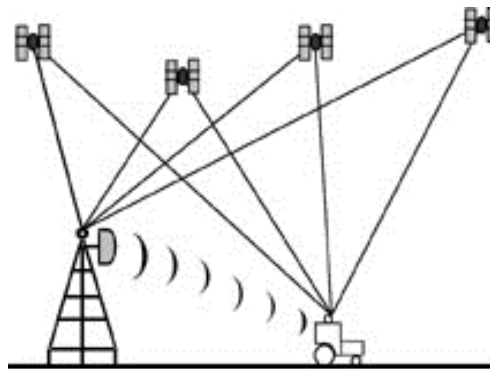
Tämä järjestelmä mahdollistaa myös salattujen viestien lähettämisen molempiin suuntiin laitteilla. [17]

Compass Satellite Navigation System (käytetään myös nimeä Beidou-2) on pantu alulle 2006 ja tulee laajennukseksi Beidou-1-järjestelmään. Peruseriaatteiltaan järjestelmä tulisi olemaan samankaltainen sekä yhteensopiva muiden GNSS-järjestelmien kanssa. Sisältäen 30 satelliittia MEO-radalla ja viisi geostationaarisella radalla, järjestelmä tarjoaisi kahden tasoista palvelua: julkista, kaikille kiinalaisille ilmaista paikannustietoa 10 m:n tarkkuudella sekä vastaanottimien kellojen synkronointiin tarvittavaa dataa 50 ns tarkkuudella. [17]

Armeijalle tarkoitettu järjestelmä tulisi olemaan tarkempi, tarjoamaan järjestelmän kunnosta tietoa sekä mahdollistamaan kommunikaation armeijan tarkoituksiin. [17]

2.3 Satelliittipaikannuksen tarkkuuden parantaminen

DGPS on GNSS-järjestelmien tarkkuuden parantamiseen tähtäävä järjestelmä. Paikassa, jonka sijainti tiedetään, oleva tukiasema laskee GNSS-signaalista oman teoreettisen sijaintinsa. Vertaamalla teoreettista sijaintia omaan oikeaan sijaintiinsa saadaan selville GNSS-signaalin virhe ja tarvittava korjaus. Tämä korjaustulos on käyttökelpoinen vain tämän tukiaseman läheisyydessä. Kun rakennetaan koko maan kattava tukiasemaverkosto, saadaan laskettua koko alueelle korjaukset jotka voidaan sitten välittää itse vastaanottimille eriävin menetelmin (kuva 8). [19, 20]



Kuva 8: Tukiasema havainnoi virheitä näköpiirissään olevissa satelliiteissa ja välittää sitten nämä tiedot liikkuvalla vastaanottimelle. [36]

Korjaus voidaan järjestää mittausvastaanottimeen joko ns. reaaliaikaisena korjauksena tai laskea tulokseen jälkikäteen jälkikorjauksena. Reaaliaikaisena korjaussignaali voidaan välittää liikkuville vastaanottimille joko satelliitin avulla (SBAS) tai maa-asemien avulla (GBAS). [19, 20]

SBAS on DGPS-järjestelmä joka välittää kunkin GNSS-satelliitin korjaussignaalia yhteensopiville GNSS vastaanottimille geostationaarisella kiertoradalla olevien satelliittien välityksellä. [19, 20]

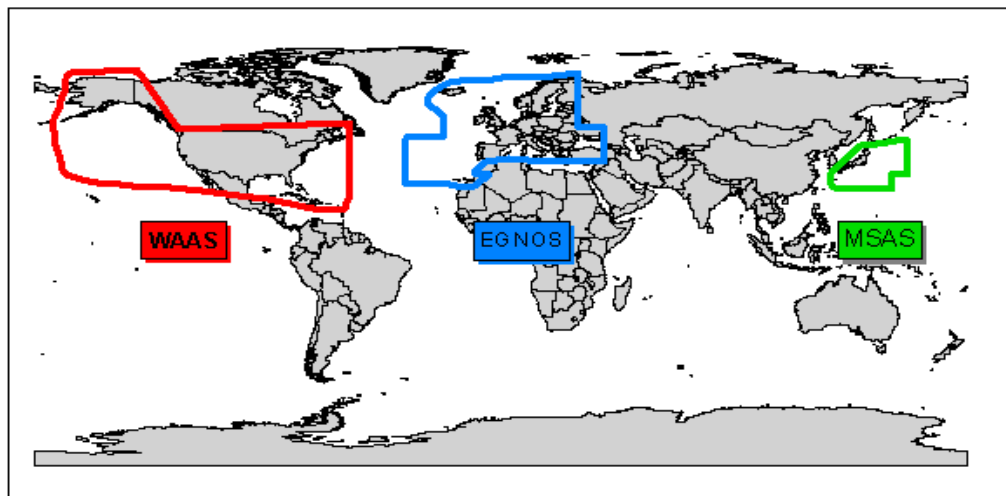
GBAS välittää vastaavaa korjaussignaalia maa-asemien kautta, joko jollain radiotaajuudella tai matkapuhelinverkon välityksellä. [19, 20]

2.4 DGPS järjestelmiä

WAAS on USA:n Ilmailulaitoksen (FAA) kehittämä SBAS DGPS -järjestelmä, joka kattaa koko Pohjois-Amerikan (USA ja Kanada). [21]

MSAS on Japanin kattava SBAS DGPS -järjestelmä joka otettiin käyttöön syyskuun 27. 2007. [21]

EGNOS on koko Euroopan kattava SBAS DGPS -järjestelmä, joka otettiin käyttöön lokakuun ensimmäinen, 2009. Järjestelmä tarjoaa korjauksia USA:n GPS-järjestelmän signaaleihin, tehden siitä käyttökelpoisen turvallisuuden kannalta tärkeissä järjestelmissä kuten lentokoneissa tai kapeissa kanaaleissa kulkevissa aluksissa. Koostuu kolmesta geostationaarista satelliitista ja maa-asemien verkostosta jotka välittävät tietoa GPS-satelliittien luotettavuudesta ja tarkkuudesta käyttäjille. [21]



Kuva 9: Eri DGPS-järjestelmiä maailmassa. [21]

Suomessa differentiaalikorjausdataa tarjoaa Indagon Oy:n FOKUS-palvelu, Merenkululaitos ja Evon metsäoppilaitos. [12, 18]

SISNeT välittää EGNOS-korjaussignaalin internetin kautta GPS-vastaanottimille alueille, jonne geostationaariselta satelliitilta ei signaali kantaudu riittävän luotettavasti, kuten pohjois-Eurooppaan ja kaupunkeihin missä korkeat rakennukset estävät korjaussignaalin vastaanoton satelliitista. [22]

Esimerkiksi GPS:llä varustettu matkapuhelin, jossa GPRS-yhteys internettiin, voi hakea SISNeT:istä korjauksen niihin GPS-satelliitteihin joita se seuraa. [22]

AGPS muistuttaa DGPS-järjestelmää siltä osin että GPS-signaaliin lasketaan korjaukset mutta sen sijaan että nämä korjaukset lähetettäisiin itse GPS-terminaalin, liikkuva terminaali lähettää oman laskemansa sijainnin apupalvelimelle. Tämä AGPS-apupalvelin laskee korjaukset GPS-terminaalin puolesta ja välittää tämän korjatun sijainnin takaisin liikkuvalla vastaanottimelle esimerkiksi matkapuhelimelle jossa on GPS-vastaanotin. Täten vastaanottimen paikannus nopeutuu ilman mitään lisäinvestointeja vastaanottimessa itsessään tai matkapuhelinverkossa. [23]

Kommunikointi matkapuhelimen ja apupalvelimen välillä voi tapahtua esimerkiksi SMS-viestin välityksellä. AGPS on suunniteltu pääasiassa hätäpalveluiden avuksi. [23]

2.5 Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus

RTK on GBAS-järjestelmä jolla päästään alle senttimetrin tarkkuuksiin tosin sen toimintavaatimukset ovat huomattavasti tiukemmat kuin SBAS DGPS-järjestelmissä. Etäisyys tukiasemaan saa olla 10 - 20 km enintään, olettaen että tukiasema ei ole liian katveessa, jotta tuloksia saataisiin luotettavasti. [24, 25, 26]

RTK-mittaus on suhteellinen satelliittipaikannus menetelmä jossa täytyy olla vähintään kaksi vastaanotinta: liikkuva vastaanotin ja tunnetussa sijainnissa oleva vastaanotin joka toimii tukiasemana. Tukiaseman ja liikkuvan välillä täytyy olla jatkuva tietoliikenneyhteys kantoaallon vaiheen ja virhetietojen välitykselle. Tiedonsiirto voidaan suorittaa esimerkiksi radion tai gsm/gprs-yhteyden välityksellä. [24, 25, 26]

RTK-menetelmää ei käytännössä voida hyödyntää juurikaan rakentamisen ja maanmittauksen ulkopuolla johtuen tukiaseman rajallisesta toimintaetäisyydestä. [24, 25, 26]



Kuva 10: Trimble R8 GNSS vastaanotin [28]

Trimble R8 GNSS vastaanotin (kuva 10).

Voi toimia sekä liikkuvana että tukiasemana RTK-kokoonpanossa.

Seurattavissa olevat satelliittijärjestelmät:

- GPS
- GLONASS
- SBAS
- Galileo (GIOVE-A ja GIOVE-B satelliitit).

Kanavia signaalien yhtäaikaiseen seuraamiseen on 220.

Differentiaalisessa mittauksessa mittaustarkkuus on:

- Horisontaalinen: 0,25 m + 1 ppm RMS
- Vertikaalinen: 0,50 m + 1 ppm RMS.

Staattisessa mittauksessa mittaustarkkuus on:

- Horisontaalinen: 3 mm + 0,1 ppm RMS
- Vertikaalinen: 3,5 mm + 0,4 ppm RMS.

Mittaustarkkuus reaaliaikaisessa kinemaattisessa mittauksessa on:

- Horisontaalinen: 10 mm + 1 ppm RMS
- Vertikaalinen: 20 mm + 1 ppm RMS.

Alustusaika normaalisti on alle 10 s.

Alustuksen luotettavuus on normaalisti yli 99,9%.

Vastaanottimen mitat (halkaisi x korkeus) ovat 19 cm x 11,2 cm liittimet mukaanlukien.

Laitteen paino on 1,34 kg sisäisellä akulla, sisäisellä radiolla ja standardi UHF antennilla. 3,7 kg painaa koko liikkuva RTK-vastaanotin sisältäen: akun, sauvan, ohjaimen ja ohjaimen kiinnikkeen.

Laitteen virtalähde voidaan kytkeä 11-28 V DC ulkoiseen virtalähteeseen, sisältää ylijännitesuojan. Litium-loni akku, 7,4 V, 2,4 Ah, on uudelleen ladattava sekä irroitettava joka sijaitsee sisäisessä akkulokerossa.

Käytettävät tiedonsiirtoyhteydet ovat:

- sisäinen: UHF, GSM/GPRS, Bluetooth
- mahdollista liittää ulkoisesti: GSM/GPRS.

Sähkön kulutus on 3,2 W RTK-tilassa käytettäessä sisäistä radiota.

Toiminta-ajat sisäisellä akulla ovat:

- 450 MHz radio vain vastaanottaen: 5,8 tuntia
- 450 MHz radio vastaanottaen ja lähettäen: 3,7 tuntia
- GSM/GPRS yhteys: 4,1 tuntia.

[28]



Kuva 11: Promark 500 [29]

Promark 500 (kuva 11).

Seurattavissa olevat satelliittijärjestelmät:

- GPS
- GLONASS
- SBAS.

Kanavia signaalien yhtäaikaiseen seuraamiseen on 75.

Mittaustarkkuudet eri menetelmillä ovat seuraavat:

- RTK: 1 cm
- DGPS: < 30 cm
- SBAS: < 50 cm
- Jälkilaskentana: 0,3 cm + 0,5 ppm.

Alustus aika on noin 2 sekuntia.

Tiedonsiirtoyhteydet ovat: UHF, GSM/GPRS, Bluetooth.

Laite painaa 1,4 kg.

Virtalähteenä on 4600 mAh Litium-Ioni akku joka kestää yli 7 tuntia. [29]

2.6 Verkko-RTK

Verkko-RTK on suhteellinen satelliittipaikannus menetelmällä, jossa korvataan mittajaan itsensä pitämä tukiasema laajan alueen kattavalla kiinteiden tukiasemien verkolla. Liikkuvan vastaanottimen ja verkko-RTK palvelun välillä tarvitaan joko yksi- tai kaksisuuntainen tietoliikenneyhteys. Kiinteiden tukiasemien verkko lähettää omat mittauksensa verkon laskentakeskukseen joka laskee korjausparametrit joita käytetään sitten eri tavoin liikkuvan vastaanottimen mittausten korjauksessa. [31]

2.6.1 Flächen-Korrektur Parameter (FKP)

FKP on ensimmäinen verkko-RTK menetelmä. Se kehitettiin 1990-luvun puolivälissä. Tällä tekniikalla kiinteään verkkoon kuuluvat tukiasemat lähettävät havaintonsa keskuslaskenta-asemalle joka laskee korjausparametrit jokaiselle tukiasemalle. Nämä tukiasemat lähettävät tätä korjausdataa vastaanottimille kuuluvalle alueellaan. Menetelmä on yksisuuntainen, jolloin liikkuva vastaanotin ei lähetä mitään takaisin vaan laskee vastaanottamiensa tietojensa perusteella korjaukset mittauksiinsa. Korjausparametreja ei optimoida liikkuvan vastaanottimen suhteen mitenkään eivätkä ne ota huomioon mitään poikkeavuuksia maastossa tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välillä. Käytetty protokolla on yksityinen ja täten ei ole standardoitu. Ei ole käytössä Suomessa tällä hetkellä. [31]

2.6.2 Virtual Reference Station (VRS)

VRS Kehitettiin 1990-luvun lopulla. Se on menetelmä, jossa RTK-mittajaan itsensä käyttämän tukiaseman korvaa virtuaalinen tukiasema. Kartoitusvastaanottimen mittausalueelle luodaan virtuaalinen tukiasema kiinteään, laajemman alueen kattavan tukiasemaverkon havaintojen avulla. Tässä mittaava laite lähettää sijaintinsa VRS-verkolle esimerkiksi GSM-viestinä. Verkon laskentakeskus luo virtuaalisen tukiaseman jota liikkuva vastaanotin hyödyntää kuin oikeaa tukiasemaa. Tämä toimii reaaliajassa kun VRS-asema on luotu ja tietoliikenneyhteys toimii. Käytetty protokolla on yksityinen ja täten ei ole standardoitu. Suomessa VRS-palvelua tarjoaa tällä hetkellä Geotrim Oy. [24, 26, 27, 31]

2.6.3 Master Auxiliary Corrections (MAC)

MAC on Leica Geosystems™:n omistama tekniikka johon kuuluu kiinteiden tukiasemien verkosto, mutta VRS-tekniikasta poiketen siinä ei luoda virtuaalista tukiasemaa mittaajan käyttöön, vaan verkon laskentakeskus lähettää raaka-dataa kaikista tukiasemista, jotka ovat riittävän lähellä liikkuvaa vastaanotinta ollakseen merkityksellisiä, liikkuvalla vastaanottimella, joka sitten käyttää näitä korjatessaan mittaustuloksiaan. Lähetetyn datan määrän tähden tämä menetelmä ei toimi vanhemmilla RTK-vastaanottimilla. Käytetty protokolla on julkinen ja standardoitu (RTCM 3.0). Ei ole käytössä Suomessa tällä hetkellä. [31, 32, 33]

2.6.4 Individualized Master Auxiliary Corrections (i-MAC)

I-MAC on Leica Geosystems:n omistama tekniikka, joka on tarkoitettu vanhemmille vastaanottimille, jotka eivät kykene käsittelemään RTCM 3.0 standardin mukaisia viestejä. I-MAC muistuttaa VRS-järjestelmää siinä mielessä että liikkuva vastaanotin seuraa vain yhtä tukiasemaa. I-MAC käyttää RTCM 2.3 standardia viesteissään. Ei ole käytössä Suomessa tällä hetkellä. [31, 32, 33]

3. Muita paikannusmenetelmiä

3.1 GSM-paikannus

GSM-paikannuksessa voidaan sijainti selvittää matkapuhelintukiaseman avulla. Mikäli puhelin on yhteydessä useampaan tukiasemaan, voidaan puhelimen sijainti selvittää vertaamalla signaalin saapumisaikaa eri tukiasemiin, muuten saadaan selville ainoastaan minkä tukiaseman kuuluvuusalueella puhelin on. Tämä tieto voidaan sitten välittää takaisin ko. puhelimelle tai jollekin toiselle osapuolelle (hälytyskeskus, palvelusta maksava omainen jne). Tarkempaa sijaintia haettaessa on käytettävä useampaa tukiasemaa.

Paikannus Bluetoothilla tai langattomalla lähiverkkolla toimii samalla periaatteella kuin GSM-paikannus, mutta ne ovat käyttökelpoisia lähinnä lyhyillä etäisyyksillä, esimerkiksi tehdassaleissa tavarantoiminnan seurannassa.

3.2 Nokia High Accuracy Indoor Positioning

HAIP on Nokian kehittämä matkapuhelimella toimiva paikannusjärjestelmä sisätiloihin, millä päästään 30 cm tarkkuuteen järjestelmän kattamilla alueilla. Rakennus, jossa halutaan tämän järjestelmän toimivan, varustetaan radiomajakoilla joita käytetään matkapuhelimen paikannuksessa. Järjestelmän tarkkuuden ja toimintavaatimusten vuoksi tämä tekniikka ei kuitenkaan käy rakennus- tai maanmittausalalla käytettäväksi. [34, 35]

3.3 Kulmamittaus

Teodoliitti eli kulmamittauslaite on edelleenkin rakennusalalla ja maastonkartoituksessa käytössä, koska satelliittipaikannuksella ei saada riittävän tarkkoja lukemia, kuten sisätiloissa tai millimetritarkkuutta haettaessa.

Teodoliitti on mielivaltaisten kulmien optiseen mittaukseen käytetty mekaanin laite. Se mittaa vaaka- ja pystyakselia suhteessa paikalliseen horisonttiin ja luotiviivaan.

Elektroninen teodoliitti eli takymetri on mielivaltaisten kulmien optiseen mittaukseen käytetty akkuvirralla toimiva laite. Periaatteeltaan se on samanlainen kuin teodoliitti mutta astelukemat tulevat näkyviin näytölle, mikä helpottaa havaintojen tarkastusta ja automaattista tallennusta mittausten yhteydessä.

Nykyään useimmat takymetrit sisältävät myös elektronisen etäisyysmittarin, laskentatehoa ja tallentimen. Edellä mainitut voivat olla myös erillisiä, kaapelilla laitteeseen liitettyjä. Mallista riippuen on myös mahdollista liittää maastomikroon.

Kulmamittauslaitteella työskennellessä työjärjestys on seuraava:

1. Valitaan kaksi sijaintia jotka tunnetaan.
2. Molemmista sijainneista mitataan kulma vaaka- ja pystyakselilla mitattavan sekä toisen referenssipisteen välillä.
3. Mitattujen kulmien avulla saadaan trigonometrisesti laskettua sekä vaaka- että vinoetäisyys mitattavaan pisteeseen.

[30]

4. Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli pääasiallisesti selvittää tällä hetkellä käytössä olevia satelliittipaikannusmenetelmiä, joiden tarkkuus on riittävä rakennusalan sekä maastomittauksen tarpeisiin. Näiden esittelemiseksi piti ensin esitellä satelliittipaikannusta yleisellä tasolla jotta päästäisiin käsiksi tarkempiin menetelmiin.

Työn tärkeintä antia ovat RTK- ja verkko-RTK-tekniikan esittely, koska nämä täyttävät tulevassa tuotekehityksessä haetut toimintavaatimukset.

Tämän lisäksi työhön kuuluu luottamuksellinen osio, jossa luodaan katsaus alan nykytilanteeseen Suomessa ja tulevaisuuden näkymiin, kuvataan työnkulkua maastomittauksessa ja rakennusalalla ja hahmotellaan ongelmia, mahdollisuuksia, konkreettisia tarpeita ja haasteita toimeksiantajan tulevassa tuotekehitysprojektissa sekä esitellään mahdollinen toteutusehdotus. Luottamuksellisen osion päättää hintavertailu tuotekehityksessä käyttökelpoisista tekniikoista eri yrityksiltä.

LÄHTEET

- [1] MOT Kielitoimiston sanakirja 2.0 [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://mot.kielikone.fi.ezproxy.turkuamk.fi/mot/TURKUAMK/netmot.exe> (luettu: 12.5.2010)
- [2] MOT Gummerus Uusi suomen kielen sanakirja 1.0 [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://mot.kielikone.fi.ezproxy.turkuamk.fi/mot/TURKUAMK/netmot.exe> (luettu: 12.5.2010)
- [3] Prasad, R., Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems. Norwood, MA, USA: Artech House, Incorporated, 2005.
- [4] Bhatta, B. Global Navigation Satellite Systems : Insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and Others. Hyderabad, IND: Global Media, 2010. p 2-3.
- [5] InsideGNSS, "What Race? What Competition? The Four GNSS Systems" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.insidegnss.com/node/1425> (luettu: 9.3.2011)
- [6] Mio, "Maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä" [www-dokumentti]. Saatavilla: http://eu.mio.com/fi_fi/maailmanlaajuinenpaikannusjarjestelma_4991.htm (luettu: 24.2.2011)
- [7] Seeber, G., Mathematik : Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications. Berlin, , DEU: Walter de Gruyter, 2008. s 213.
- [8] Prasad, R., Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems. Norwood, MA, USA: Artech House, Incorporated, 2005. s 41-46.
- [9] Bhatta, B. Global Navigation Satellite Systems : Insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and Others. Hyderabad, IND: Global Media, 2010. s 62-66.
- [10] Seeber, G., Mathematik : Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications. Berlin, , DEU: Walter de Gruyter, 2008. s 301.
- [11] Seeber, G., Mathematik : Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications. Berlin, , DEU: Walter de Gruyter, 2008. s 216-219.
- [12] Maanmittauslaitos, "Satelliittimittaus eli GPS-mittaus" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus> (luettu: 12.5.2010)
- [13] U.S. Naval Observatory, "Current GPS constellation" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://tycho.usno.navy.mil/gpscurre.html> (luettu: 18.3.2011)
- [14] Encyclopedia Astronautica, "Navstar" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.astronautix.com/project/navstar.htm> (luettu: 17.3.2011)
- [15] European Space Agency, "What is Galileo?" [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html (luettu: 22.3.2011)
- [16] Space and tech, "GLONASS – Summary" [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.spaceandtech.com/spacedata/constellations/glonass_consum.shtml (luettu: 12.5.2010)

- [17] Encyclopedia Astronautica, "Beidou" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.astronautix.com/craft/beidou.htm> (luettu: 13.3.2011)
- [18] Geotrim Oy, "DGPS-palvelut" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.geotrim.fi/Tuoteryhma.asp?ID=310> (luettu: 22.3.2011)
- [19] Seeber, G., *Mathematik : Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, , DEU: Walter de Gruyter, 2008. s 325-326.
- [20] Ashtech [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.promagellangps.com/en/products/aboutgps/dgps.asp> (luettu: 12.5.2010)
- [21] Environmental Studies, "EGNOS and WAAS = modern DGPS Satellite Systems" [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.environmentalstudies.de/Precision_Farming/EGNOS_WAAS_E/3E.html (luettu: 12.5.2010)
- [22] European Space Agency, "Signals used by SISNeT" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.egnos-pro.esa.int/sisnet/About%20Sisnet.html> (luettu: 17.3.2011)
- [23] GPS World, "Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.gpsworld.com/gps/assisted-gps-low-infrastructure-approach-734> (luettu: 9.3.2011)
- [24] Bhatta, B. *Global Navigation Satellite Systems : Insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and Others*. Hyderabad, IND: Global Media, 2010. s 341-343.
- [25] Seeber, G., *Mathematik : Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, , DEU: Walter de Gruyter, 2008. s 337-338.
- [26] Geotrim Oy, "VRS-Palvelu GPS-mittauksiin" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.geotrim.fi/Tuoteryhma.asp?ID=376> (luettu: 17.3.2011)
- [27] Wanninger L., "Introduction to Network RTK" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.wasoft.de/e/iagwg451/intro/introduction.html> (luettu: 12.5.2010)
- [28] Trimble R8 GNSS receiver Datasheet (2009) [www-dokumentti]. Saatavilla: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079/022543-079J_TrimbleR8GNSS_DS_1109_LR.pdf (luettu: 23.3.2011)
- [29] Ashtech, "Promark 500" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.ashtech.com/promark-500-2654.kjsp?RH=1284571414443&RF=PRUEPROMARK500> (luettu: 25.3.2011)
- [30] Rantanen P., *Maastomittauksen perusteet*, Vammalan Kirjapaino 2001
- [31] South Australian CORS Pty Ltd, "Network RTK" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.cors.com.au/technical-info/network-rtk> (luettu: 13.4.2011)
- [32] Geospatial World [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.gisdevelopment.net/magazine/middleeast/2005/sep-oct/rtk_1.htm (luettu: 14.4.2011)
- [33] Wübbena G., Schmitz M., Bagge A., "Real-Time GNSS Data Transmission Standard RTCM 3.0" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://nng.esoc.esa.de/ws2006/REAL2.pdf> (luettu: 14.4.2011)

- [34] Symbian Freak, "Nokia Research Centre presents the most accurate indoor positioning technology in the world" [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.symbian-freak.com/news/011/04/the_most_accurate_indoor_positioning_technology_in_the_world.html (luettu: 21.4.2011)
- [35] Martin J., "Nokia High Accuracy Indoor Positioning: versatile indoor GPS system for your Nokia" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://noknok.tv/2011/04/19/nokia-high-accuracy-indoor-positioning-versatile-indoor-gps-system-for-your-nokia/> (luettu: 21.4.2011)
- [36] Stombaugh T.S., Clement B.R., "Unraveling the GPS Mystery" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0560.html> (luettu: 13.3.2011)
- [37] Wikipedia "Paikannus" [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Paikannus> (luettu: 12.5.2010)