

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautettujen järjestelmien suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö

Ville Airu

PAIKANNUS GPS- JA GSM-JÄRJESTELMISSÄ

Työn ohjaaja: Yliopettaja Mauri Inha

Tampere 5/2009

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena on esitellä satelliitti- ja matkaverkkopaikannusta sekä erilaisia paikannussovelluksia. Työssä perehdytään GPS-järjestelmän toimintaperiaatteisiin ja siihen olennaisesti kuuluviin kokonaisuuksiin, kuten paikanlaskemiseen, GPS-signaaliin, GPS-kelloihin ja erilaisiin virhelähteisiin. Lisäksi esitellään erilaisia paikannusmenetelmiä niin GPS- kuin GSM-järjestelmissä. Lyhyesti kerrotaan myös GPS-järjestelmän synnystä ja sen kehitysvaiheista.

Tietyiltä osin paikannuksen periaate matkapuhelinverkossa muistuttaa GPS-järjestelmän satelliittipaikannusta. GSM-järjestelmän osalta perehdytään erilaisiin paikannusmenetelmiin sekä luodaan katsaus matkapuhelinverkon rakenteeseen. Lopuksi tutustaan GPS- ja GSM-järjestelmien erilaisiin paikannussovelluksiin ja sovellusalueisiin. Paikannusta hyödyntävien sovellusten ja erilaisten laiteratkaisujen avulla saadaan käsitys paikannuksen tarpeesta ja tärkeydestä eri aloilla.

ABSTRACT

Purpose of this report is to introduce satellite and cellular network localization and different kinds of location applications. This report gets acquainted with GPS system's operation principle and its important entities like position calculation, GPS signal, GPS clocks and error sources. Also different kinds of location methods are introduced in GPS and GSM systems. History of GPS is introduced briefly.

In certain aspects location in GPS and GSM systems resemble each other. This report concentrates more detailed on GPS system which helps to get acquainted with GSM system's location methods. As for GSM system this report takes a look about its location methods and introduces cellular network and base transceiver station basics. At the end of the report different kinds of location applications are introduced. Various applications give understanding localization's importance in different fields of industry.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun sulautettujen järjestelmien insinöörityönä.

Satelliitti- ja verkkopaikannukseen tutustuin ensimmäistä kertaa tarkemmin tietoliikennelaboratoriokurssin projektityössä. Työn osoittauduttua mielenkiintoiseksi laajeni projektityö lopulta insinöörityöksi.

Haluan kiittää Tampereen ammattikorkeakoulun opettajia ja erityisesti työn valvojaa Mauri Inhaa työn tarkastuksesta ja ohjauksesta.

Tampereella toukokuussa 2009

Ville Airu

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
SISÄLLYSLUETTELO	iv
LYHENNELUETTELO	iv
1 JOHDANTO	1
2 NAVSTAR GPS -JÄRJESTELMÄN SYNTY	2
3 GPS-JÄRJESTELMÄN RAKENNE	3
3.1 GPS-satelliitit	3
3.2 Valvonta- ja kontrolli	4
3.3 GPS-vastaanottimet	5
4 GPS-JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE	7
4.1 Havaitseijan paikan laskeminen	8
4.2 GPS-aika ja kellojen synkronointi	10
4.3 GPS-signaali	11
4.4 Paikannusmenetelmät	12
4.4.1 Differentiaalinen GPS, DGPS	12
4.4.2 Avustettu GPS, AGPS	14
4.4.3 Reaaliaikainen kinemaattinen paikannus	15
4.4.4 Virhelähteet	15
5 GSM-VERKKOPAIKANNUS	17
5.1 Matkapuhelinverkon rakenne	18
5.2 Verkkopaikannusmenetelmät	20
5.2.1 Solupaikannus (CGI, Cell Global ID)	20
5.2.2 Saapumiskulman mittaus (AOA)	21
5.2.3 Aikaeropaikannus (E-OTD) ja saapumisaikapaikannus (TOA)	22
5.2.4 Korrelaatiopaikannus	23
5.2.5 Verkkopaikannus 3G-verkoissa	24
6 GPS- JA GSM-PAIKANNUKSEN SOVELLUSALUEET	24
7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	29
LÄHDELUETTELO	31

LYHENNELUETTELO

AGPS	Assisted GPS. Matkaviestiverkon avustama satelliittipaikannus-menetelmä.
AOA	Angle of Arrival. Signaalin saapumissuuntaan perustuva paikannus matkapuhelinverkossa.
AUC	Authentication Centre. Tilaajan oikeuden matkapuhelinverkon käyttämiseen varmistava tunnistuskeskus.
BSC	Base Station Controller. Tukiasemaa ohjaava tukiasemaohjain.
BSS	Base Station Sub-system. Tukiasemajärjestelmä, joka koostuu tukiasemista ja tukiasemaohjaimista. Matkapuhelinverkon osakokonaisuus.
BTS	Base Transceiver Station. Tukiasema, joka yhdistää pääte-laitteen matkapuhelinverkkoon.
CI	Cell Identification. Matkaviestiverkon paikannusmenetelmä, jolla voidaan paikantaa matkapuhelimen sijainti tiettyyn soluun.
DGPS	Differential GPS. Satelliittipaikannusmenetelmä, jossa liikuvan vastaanottimen paikannustietoja korjataan kiinteässä pisteessä olevan vastaanottimen avulla.
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service. Eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka täydentää GPS- ja GLONASS-järjestelmiä. Laajenee tulevaisuudessa itsenäiseksi Galileo-paikannusjärjestelmäksi.
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference. Matkaviestiverkon paikannusmenetelmä.
EIR	Equipment Identity Register. Laitetunnistusrekisteri.
GLONASS	Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema. Venäjän kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.

GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GPST	Global Positioning System Time. GPS- satelliittien käyttämä aika. $GPST + 19\text{ s} = TAI$.
HLR	Home Location Register. Kotirekisteri, joka sisältää palveluiden tuottamiseksi tarvittavat tilaajatiedot.
IMEI	International Mobile Equipment Identity. Kansainvälinen laitetunniste, jolla jokainen GSM-puhelin voidaan tunnistaa.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity. Kansainvälinen matkapuhelintilaajan tunnus
ME	Mobile Equipment. Matkapuhelinlaite.
MEO	Medium Earth Orbit. Nimitys 2 000 km – 36 000 km korkeudessa sijaitseville eri kiertoradoille.
MS	Mobile Station. Matkapuhelin, joka pitää sisällään SIM-kortin.
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System. Japanissa toimiva DGPS-menetelmää tukeva satelliittijärjestelmä.
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency. Yhdysvaltain puolustus-ministeriön alainen tiedusteluorganisaatio, joka ylläpitää GPS-järjestelmässä toimivia monitorointiasemia.
NSS	Network and Switching Sub-system. Matkapuhelinverkon keskusjärjestelmä.
OTDOA-IPDL	Observed Time Difference of Arrival – Idle Period Down Link. 3G-verkon paikannusmenetelmä.
POI	Point of Interest. Navigointilaitteessa sijaitseva tietokanta kartan alueella sijaitsevista kohteista, kuten huoltoasemista, ravintoloista tai nopeusvalvontakameroista.

PRN	Pseudo Random Noise. Kohinaa muistuttava matemaattisen algoritmin tuottama koodausmenetelmä, jonka avulla satelliitin kantaaltosignaalin päälle moduloidaan näennäissatunnaista signaalia.
RTK	Real Time Kinematic. DGPS-menetelmää muistuttava mittausjärjestelmä.
RTT	Round Trip Time. 3G-verkon paikannusmenetelmistä.
TA	Timing Advance. Solupaikannuksen tarkkuutta parantava tekniikka.
TAI	International Atomic Time. Kansainvälinen atomiaika.
TOA	Time of Arrival. Matkaviestiverkon paikannusmenetelmä.
TTFF	Time to First Fix. Aika, joka kuluu kun satelliitti saa lähetettyä ratatiedot vastaanottimelle.
VLR	Visitor Location Register. Vierailijarekisteri, johon haetaan kotirekisteristä tarvittavat tilaajatiedot siksi ajaksi, kun matkapuhelin sijaitsee VLR:n alueella.
WAAS	Wide Area Augmentation System. Pohjois-Amerikassa toimiva DGPS-menetelmää tukeva satelliittijärjestelmä.

1 JOHDANTO

Paikannuksella tarkoitetaan henkilön, kulkuneuvon tai jonkin muun määrätyn kohteen paikan selvittämistä. Paikannukseen olennaisena osana kuuluu navigointi, joka tarkoittaa oikean kulkusuunnan selvittämistä. Paikannus ja navigointi eivät suinkaan ole uusia keksintöjä, sillä niitä on harjoitettu jo kauan ennen nykyaikaisia paikannusmenetelmiä. Ensimmäiset menetelmät perustuivat taivaankappaleiden, kuten kiintotähtien ja Aurin gon avulla suunnistukseen. Merkittävimpiä edistysaskeleita toivat kompassin, kellon ja sekstantin kehittäminen. Sekstantti on optinen laite, jonka avulla voitiin määrittää aluksen paikka suhteessa taivaankappaleisiin. Sekstantti oli etenkin merenkulussa tärkeä apuväline. Myös karttojen laatiminen ja niiden tarkentuminen on ollut tärkeää paikannusta ajatellen. Ensimmäiset kehittyneemmät menetelmät olivat erilaisia radionavigointijärjestelmiä, joiden tunnetussa paikassa olevien lähetinasemien avulla kohde kykeni paikantamaan itsensä.

Nykyään erilaiset paikannuslaitteet ovat tärkeä apuväline monien eri alojen ihmisille. Paikannusjärjestelmistä kehittynein ja tarkin on GPS-järjestelmä. Sotilaskäytössä GPS-järjestelmä on korvaamaton mm. erilaisten täsmäaseiden ohjauksessa sekä joukkojen koordinoinnissa. Viranomaiset, kuten poliisit ja pelastajat, käyttävät GPS-laitteita avukseen työtehtävissään ja saattavat paikannuslaitteiden avulla pelastaa ihmishenkiä. Siviilikäytössä GPS-laitteet ovat yleistyneet merkittävästi ja ne tarjoavat mm. autoilijoille ja retkeilijöille huolettoman tavan löytää haluamaansa kohteeseen.

GPS-tekniikan lisäksi paikannusta voidaan toteuttaa myös GSM-tekniikan avulla. Matkapuhelinverkkoa hyödyntävä paikannus perustuu tukiasemien ja matkapuhelimen väliseen liikenteeseen. Laajalle levinneiden päätelaitteiden, eli matkapuhelimien ansiosta, GSM-paikannus on tietyin rajoituksin lähes kaikkien matkapuhelinomistajien käytettävissä. Matkapuhelinpaikannus ja sen kehittäminen on tärkeää, sillä sen avulla voidaan paikantaa tai saada tarvittava lisätieto hädässä- tai eksyksissä olevan henkilön löytämiseksi.

2 NAVSTAR GPS -JÄRJESTELMÄN SYNTY

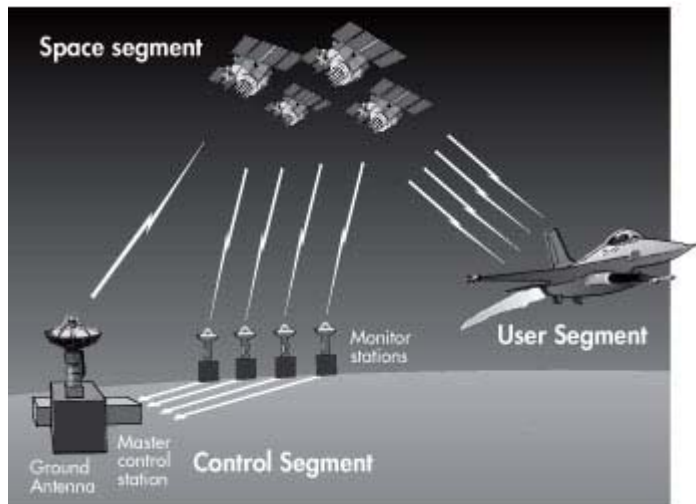
Navigation System using Timing and Ranging (Navstar) Global Positioning System (GPS) eli lyhyemmin Navstar GPS-järjestelmä on maailmanlaajuinen navigointi- ja paikannusjärjestelmä, jonka toiminta perustuu ajanmääritykseen ja etäisyyden mittaukseen. Järjestelmän avulla käyttäjä voi satelliittien avulla määrittää oman paikkansa ja nopeutensa missä tahansa maapallolla. Järjestelmä on kehitetty alunperin sotilaskäyttöön palvelemaan täsmäaseiden suuntaamista ja joukkojen ohjaamista. Se kehitettiin korvaamaan Yhdysvaltain ilmavoimien Program 612B - ja laivaston Timation-ohjelmat. Nämä ohjelmat yhdessä sekä erityisesti Timation-satelliitissa käytetty toimiva ja tarkka kellotekniikka loivat perustan Navstar GPS - järjestelmälle /1 s. 20/.

Vuonna 1973 syntynyt päätös uuden paikannusjärjestelmän kehittämisestä johti viisi vuotta myöhemmin ensimmäisen GPS-paikannusta palvelevan ensimmäisen sukupolven Navstar 1-satelliitin laukaisemiseen. Koska järjestelmä kehitettiin sotilaallisiin tarkoituksiin, se pyrittiin rakentamaan mahdollisimman luotettavaksi ja suojaamaan tarkasti vihollisen häirinnältä. Vuoteen 1985 mennessä vastaavia satelliitteja oli laukaistu avaruuteen onnistuneesti kymmenen kappaletta. Ensimmäiset avaruuteen lähetetyt satelliitit kuuluivat ensimmäisen polven Block I - sarjan satelliitteihin, joista viimeinen lähetettiin avaruuteen vuonna 1985. Block I - sarjan satelliiteista viimeinen poistettiin käytöstä vuonna 1995. Ensimmäisen sukupolven satelliitteja seurasivat Block II -, Block IIA -, Block IIR - ja Block IIR-M - sarjan satelliitit /1. s. 21, 5/.

Vuonna 1995 huhtikuussa GPS-järjestelmää hallinnoiva Yhdysvaltain ilmavoimien avaruustoimintojen yksikkö AFSC (U.S. Air Force Space Command) ilmoitti GPS:n olevan operatiivisesti täysin valmis. Tämä tarkoitti, että avaruudessa oli vähintään 24 täysin toimivaa satelliittia, jotka mahdollistavat täyden toimintakunnon saavuttamisen. Näin ollen järjestelmä oli toimintakuntoinen 24 tuntia vuorokaudessa kaikkialla maailmassa. Kun GPS-järjestelmä ensimmäistä kertaa saavutti täyden operatiivisen valmiuden, käytössä olivat Block II- ja Block IIA-sarjan satelliitit /1. s 21/.

3 GPS-JÄRJESTELMÄN RAKENNE

GPS-järjestelmä koostuu kolmesta kokonaisuudesta: avaruuden satelliiteista, maassa sijaitsevasta kontrolliverkosta sekä erilaisista GPS-vastaanottimista (kuva 1).

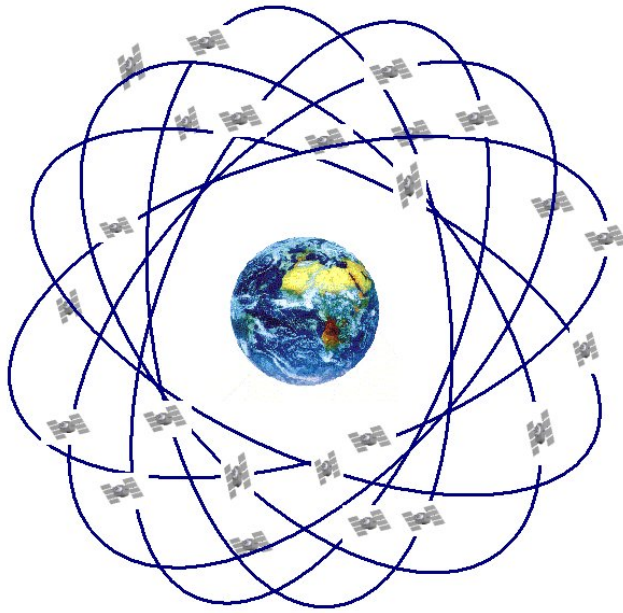


Kuva 1 GPS-järjestelmä /15/

GPS-satelliitit kiertävät maapalloa n. 20 000 km korkeudessa ja lähettävät signaalia maassa sijaitseville vastaanottimille, jotka laskevat vastaanotettujen signaalien perusteella oman paikkansa. Kontrolliverkon tarkoituksena on tarkkailla ja valvoa satelliittien tilaa ja tehdä niihin tarvittavia korjauksia ja päivityksiä. Seuraavissa kappaleissa perehdytään tarkemmin järjestelmän osakokonaisuuksiin.

3.1 GPS-satelliitit

GPS-järjestelmää palvelevia satelliitteja on laukaistu avaruuteen jo kymmenittäin. Ensimmäisen sukupolven satelliitit on jo poistettu käytöstä niissä olevan tekniikan vanheudessa, ja uusia GPS-satelliitteja laukaistaan määräajoin. Tällä hetkellä käytössä on Block II -, Block IIA - ja Block IIR - tyyppin satelliitteja.



Kuva 2 GPS-satelliittien kiertoradat avaruudessa /16/

Satelliitit kiertävät maapalloa yhteensä kuudella eri kiertoradalla joiden väli on 60 astetta (kuva 2). Ne sijaitsevat MEO-radalla (Medium Earth Orbit) likimain 20 200 km:n korkeudessa. Kiertoratojen kaltevuus- eli inkliinaatiokulma päiväntasaajan nähden on 55 astetta. Kaltevuuskulman takia kiertoradat eivät ulotu leveyspiirien 55° etelä- tai pohjoispuolelle, mutta koska satelliitit kiertävät maapalloa hyvin korkealla GPS-järjestelmä toimii myös napa-alueilla. Yhdellä kiertoradalla maapalloa kiertää neljä satelliittia, joista jokainen kiertää maapallon kahdesti vuorokaudessa. Satelliittien kiertoradat ovat tarkkaan määriteltyjä täsmällisillä laskelmilla, joiden ansiosta jokaisen satelliitin tarkka paikka voidaan määrittää tarkasti kauas tulevaisuuteen /1. s. 27 - 28/.

3.2 Valvonta- ja kontrolli

GPS-järjestelmää valvotaan maanpäällisistä keskus- ja maa-aseamista, joiden tehtävänä on pitää järjestelmä toimintakuntoisena. Keskusasema sijaitsee Schrieverin lentotukikohdassa Coloradossa, jossa tarkkaillaan jatkuvasti satelliittien kiertoratoja ja niissä olevia kelloja. Keskusasema on suorassa yhteydessä viiteen maa-asemaan, jotka on sijoitettu lähelle päiväntasaajaa tasaisin välimatkoin ympäri maapalloa. Vuonna 2005 kontrolliverkkoon lisättiin vielä kuusi Yhdysvaltain puolustusministeriön alaisen tiedusteluorganisaation National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) ylläpitämää lisäasemaa. Uusien asemien ansiosta saadaan tarkempia mittaustuloksia, sillä jokainen sa-

telliitti voidaan nähdä vähintään kahdesta asemasta. Tulevaisuudessa NGA aikoo rakentaa vielä uusia lisäasemia yhä tarkempien mittausten saavuttamiseksi /1. s. 33 - 34, 6/.



Kuva 3 Monitorointiasemat /17/

Maa-asemilla sijaitsee GPS-vastaanottimien lisäksi atomikello ja laskutoimituksia suorittavia tietokoneita. Vastaanottimet mittaavat jatkuvasti etäisyyttä näkemiinsä satelliitteihin ja vertaavat omaa atomikelloaikaansa satelliittien atomikelloaikaan. Mittausdata välitetään suoraan keskusasemalle, joka suorittaa niiden perusteella tarvittavat korjaukset.

Suurimmat muutokset satelliittien kiertoratoihin aiheutuvat kuun, maan ja aurinkotuulen vaikutuksesta. Vaikka nämä efemeridivirheiksi kutsutut vaihtelut eivät ole suuria, niitä ei voida hyväksyä tarkassa GPS-järjestelmässä. Peruspaikantimen käyttäjälle efemeridivirheistä ei käytännössä ole haittaa, vaan niistä aiheutuvat virheet näkyvät käytännössä vasta käytettäessä erittäin tarkkoja ja kalliita mittalaitteita, jotka mahdollistavat n. $\pm 1 - 3$ cm:n tarkkuuden.

3.3 GPS-vastaanottimet

Lukumattomat GPS-vastaanottimet muodostavat järjestelmän käyttäjäsegmentin. Vastaanottimissa on sisäänrakennettu antenni, joka on säädetty vastaanottamaan satelliitteista tulevaa signaalia. Uusimmat vastaanottimet kykenevät vastaanottamaan samanaikai-

sesti jo 12 satelliitin signaalia. Tämä on teoriassa suurin mahdollinen samaan paikkaan näkyvien satelliittien lukumäärä. Alkujaan vastaanottimet kykenivät vain 4 - 5 signaalin vastaanottoon. Laitteissa on myös kideoskillaattori sekä vastaanotin-proessori, joka käsittelee signaaleista saatua dataa.

Vastaanottimia on lukematon määrä eri käyttötarkoituksiin. Yleisimmät peruskäyttäjän vastaanottimet lienevät auto-, vene- ja retkinavigaattoreita, jotka opastavat käyttäjää haluttuun määränpäähen. Yksinkertaisimmat vastaanottimet eivät sisällä näyttöä, vaan vaativat erillisen tietokoneen ja näyttölaitteen ilmaistakseen oman paikkansa (kuva 3). Tällaisia laitteita käytetään mm. autoissa, joissa on kiinteä navigaattori. Kannettavissa GPS-vastaanottimissa näyttö ja tietokone ovat integroituna laitteen sisään. Perinteiset vastaanottimet ovat suhteellisen edullisia ja helppokäyttöisiä.

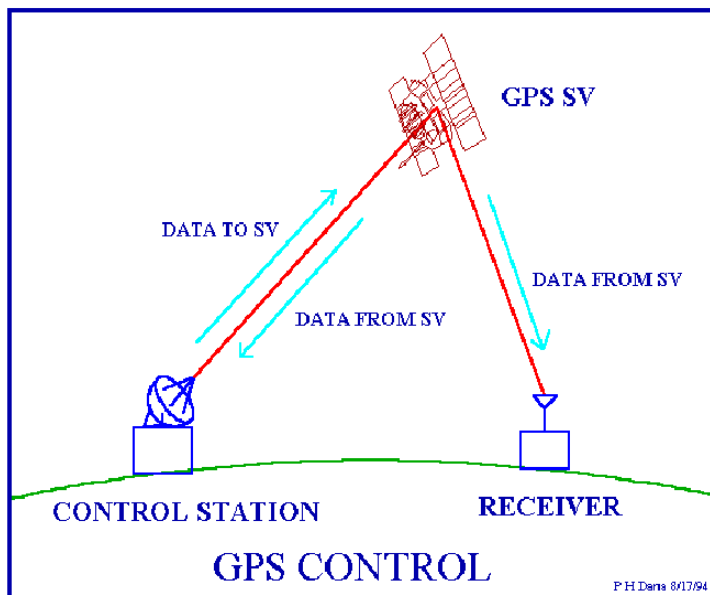


Kuva 4 RoyalTek RBT-1100 -bluetooth- GPS-vastaanotin /18/

Kehittyneimpiä vastaanottimia käytetään ammattikäytössä mm. sotilaallisissa sovelluksissa, turvallisuusratkaisuissa, maanmittauksessa, paikkatietojärjestelmässä (GIS) ja tutkimuksessa. Laitteiden toimintaperiaate on sama kuin halvemmillaakin malleilla, mutta ne on rakennettu huomattavasti laadukkaammista komponenteista. Niissä on käytössä yleensä ylimääräisiä vastaanottimia ja erikoisantenneja, jotka mahdollistavat perusvastaanottiin verrattuna paremman tarkkuuden. Lisäksi ne voivat tallentaa suuren määrän käytössä tallennettua dataa, jota voidaan prosessoida uudelleen myöhemmin /7/.

4 GPS-JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE

Paikkatiedon määrittäminen perustuu satelliitin ja vastaanottimen välisen signaalin kulkuajan mittaamiseen. Kun satelliittien tarkka sijainti tunnetaan, eri satelliiteista tulevien signaalien kulkuajojen avulla kyetään laskemaan myös vastaanottimen sijainti. Käyttäjän vastaanotin ei lähetä satelliittiin päin mitään signaalia, vaan ainoastaan vastaanottaa dataa. Kontrolliaseman ja satelliitin välinen yhteys on kaksisuuntainen mahdollisten päivitysten ja korjausten vuoksi /2 s. 11/.

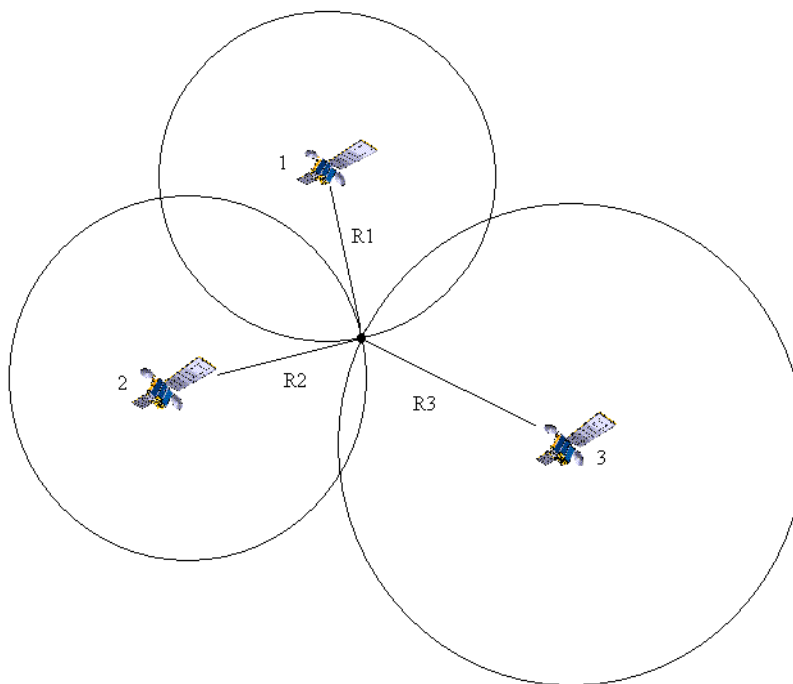


Kuva 5 GPS-järjestelmä /19/

Jotta GPS-järjestelmä on täydellisesti toimiva ja jatkuva kolmiulotteinen paikannus on mahdollista, joka hetki vähintään 4 satelliittia on oltava vastaanottimeen yhteydessä. GPS-järjestelmässä avaruudessa kiertää yhteensä 24 satelliittia, joista näkyvissä yhtä aikaa on kuudesta kahteentoista satelliittia. 4 satelliittia toimivat varasatelliitteina, jotka voidaan ottaa käyttöön tarpeen vaatiessa. Todellisuudessa järjestelmässä on enemmänkin aktiivisia satelliitteja joiden tarkoituksena on tehdä verkosta entistä tehokkaampi ja luotettavampi. GPS kuitenkin mielletään usein vain 24 satelliitin järjestelmäksi.

4.1 Havaittajan paikan laskeminen

Yhden satelliitin avulla havaittajan paikka voidaan rajata jonkin sen säteisen pallon ulkopinnalle jonka GPS-vastaanottimen ja satelliitin välinen etäisyys määrittää. Kun mukaan saadaan lisäksi etäisyydet kahdesta toisesta satelliitista, havaittajan mahdollinen paikka saadaan rajattua suhteellisen tarkasti tiettyyn pisteeseen kolmen pallon leikkauspisteeseen (kuva 5). Havaittajan paikka voidaan pallotrigonometriaa käyttäen löytää vain kolmen satelliitin avulla, jos oletetaan tämän sijaitsevan maapallon pinnalla. Tätä metodia kutsutaan trilateraatioksi eli kolmiomittaukseksi /2 s. 21/.



Kuva 6 Trilateraatio eli kolmiomittaus

Havaittajan tarkka paikanlaskeminen tapahtuu aina kuitenkin vähintään neljän satelliitin avulla, sillä kolmella satelliitilla on käytännössä mahdotonta määrittää vastaanottimen korkeuskomponenttia. Kolmen satelliitin avulla saatavan paikkatiedon mukaan vastaanottimen mahdollinen sijainti voisi olla maan pinnan lisäksi myös korkealla avaruudessa tai syvällä maan sisässä. Neljännen satelliitin avulla paikkatieto saadaan rajattua tiettyyn pisteeseen myös korkeuskomponentin osalta. Kolmea satelliittia käyttäen pallotrigonometrian avulla vastaanottimen mahdollinen paikka sijoittuu kahden pallon rajaaman alueen sisälle ja sen leikkaamaan kolmannen pallon pinnalle. Kun neljännessä satelliitista saatava etäisyyskomponentti leikkaa edellä mainitun pinnan, muodostuu tarkka piste /1 s. 38/.

Pseudoetäisyys

Paikannus perustuu pseudoetäisyyden mittaukseen, joka saadaan määritettyä satelliitista lähtevän signaalin kulkuajasta. Pseudoetäisyys ei siis ole havaitsijan ja satelliitin välinen oikea etäisyys, vaan sisältää kellojen aiheuttaman virheen.

Perushavaintosuurena on signaalin kulku-aika Δt , joka voidaan esittää:

$$\Delta t = t_R - t^S \quad (1)$$

jossa t_R on aika signaalin saavuttaessa vastaanottimen ja t^S aika signaalin lähtöhetkellä. Sekä satelliitin, että vastaanottimen kelloihin vaikuttaa lisäksi kellovirhe, joka on otettava huomioon. Pseudoetäisyys voidaan määrittellä seuraavasti:

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

jossa X, Y, Z ilmoittavat vastaanottimen paikan,

x, y, z on satelliitin paikkakoordinaatit avaruudessa,

Δt on satelliitin kellovirhe

ΔT on vastaanottimen kellovirhe

X, Y, Z ja ΔT ovat tuntemattomia muuttujia, jotka voidaan ratkaista neljän sopivissa paikoissa olevan satelliitin avulla /2 s. 124, 8/.

Satelliitin lähettämään signaaliin on sisällytetty tieto sen lähtöajasta, jolloin vastaanottimen ja satelliitin kellonaikojen erotuksesta voidaan laskea kulku-aika. Kun kulku-aika kerrotaan signaalin nopeudella (valonnopeus), saadaan satelliitin pseudoetäisyys. Käytännössä tämä tapahtuu, kun vastaanotin vertaa satelliitin lähettämää alkuperäistä PRN-koodia ja sen tarkkaa kopiota, jonka vastaanotin kehittää. Satelliitista lähtevässä signaalissa on mukana sen lähtöhetki. Aikaviive siis selviää, kun vastaanotin löytää alkuperäisen signaalin lähtöhetken mukaisen kohdan omasta kopiostaan. PRN-koodia käsitellään tarkemmin GPS-signaalia koskevassa kappaleessa /1 s. 39/.

Signaalin suuren nopeuden takia pienetkin virheet kelloajoissa heikentävät paikannustarkkuutta suuresti. Esimerkiksi 10 ms:n ero vastaanottimen kellossa GPS aikaan verrattuna aiheuttaa kaikkiin mittauksiin jopa n. 3000 km:n virheen.

4.2 GPS-aika ja kellojen synkronointi

GPS-satelliittit käyttävät GPST-aikajärjestelmää (GPS Time), joka on määritelty kansainvälisen atomiajan (TAI) mukaisesti. Jokaisessa GPS-satelliitissa on yhteensä neljä tarkkaan kalibroitua atomikelloa. Kellot käyvät GPS-standardien mukaista aikaa, jota valvotaan ja tarvittaessa kalibroidaan GPS-maa-aseilla. Atomikellojen tarkkuus on normaalisti yksi 10^{11} osa. Koska GPS-vastaanottimiin olisi todella kallista sijoittaa tarkkoja atomikelloja, niissä käytetään normaaleita kideoskillaattoreita. Vastaanottimien kideoskillaattoreiden tarkkuudet ovat normaalisti yksi 10^5 - tai 10^6 osa /2 s. 48/.

Koska pienikin ero kellojen tarkkuudessa johtaa jopa tuhansien kilometrien virheeseen, kelloista aiheutuva virhe on korjattava. Korjaus on käytännössä melko vaivatonta, ja samalla yksi GPS-järjestelmän vahvuuksista. Satelliitin kellovirhe on pieni ja tarkkaan tunnettu, eikä sen vaikutus ei ole suuri. Vastaavasti vastaanottimen epätarkemman kellon vuoksi, siinä aiheutuu huomattavasti enemmän kellovirhettä. Toisin sanoen, tietyn aikapoikkeaman syntymiseen verrattuna viralliseen GPST-aikaan kuluu vastaanottimelta huomattavasti pienempi aika kuin satelliitissa sijaitsevalta atomikellosta.

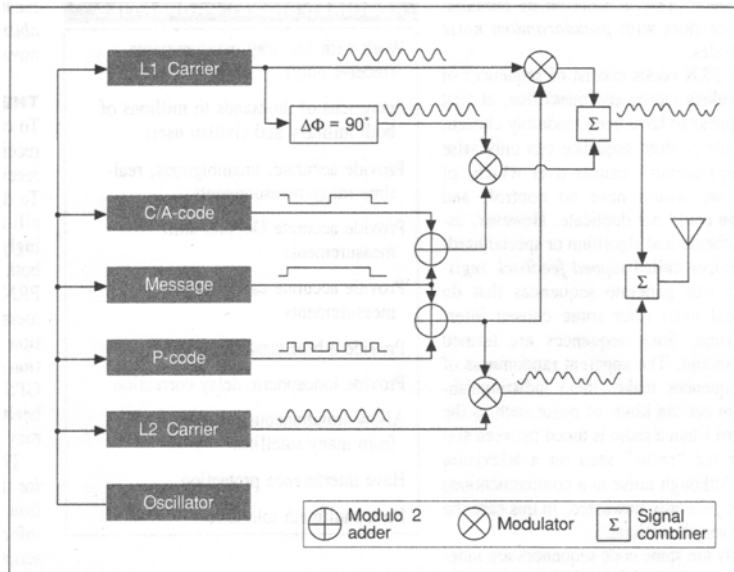
Vastaanottimet voidaan pitää GPS-ajan kanssa synkronissa mm. hyppyttymällä kelloa tietyn askeleen aina kun vastaanottimen oman ja satelliiteista saadun kellon ero kasvaa liian suureksi. Tarvittava korjauskomponentti saadaan, kun lasketaan kolmen satelliitin avulla määritetyn pisteen etäisyys neljänteen satelliittiin. Kun etäisyys jaetaan valonnopeudella, saadaan satelliitin atomikellon ja vastaanottimen kellon aikaero. Jos laskutoimituksesta saadaan negatiivinen muuttujan arvo, kelloa viivytetään; jos arvo on positiivinen, kelloa edistetään. Toinen tapa on käyttää stabiilia ulkopuolista taajuuslähdettä, joka eliminoi virheen lähes kokonaan /2 s. 50/.

4.3 GPS-signaali

Jokaisessa satelliitissa on oma cesium-atomikello, joka tuottaa 10,23 MHz:n perustaaajuutta. Atomikellon avulla satelliitit saadaan lähettämään kantaaltoa kahdella taajuudella, $L1 = 1575,42$ MHz ja $L2 = 1227,6$ MHz. Kantaallot ovat perustaaajuuden kerrannaisia, jotka on saatu kertomalla perustaaajuus 154:llä ja 120:llä /2. s118/.

Miksi kantaaltotaajuudet on valittu juuri edellä mainituiksi, riippuu muutamista oleellisista tekijöistä. Tällaisia ovat ainakin ionosfäärissä tapahtuvat viiveet, jotka ovat valtavia alle 100 MHz:n ja yli 10 GHz:n taajuuksilla. Yli 2 GHz:n taajuudet vaatisivat signaalin vastaanottoon suuntaavan antennin. Liian pienillä taajuuksilla taas signaalin nopeus tyhjiössä poikkeaa valonnopeudesta enemmän ja aiheuttaa kulkuaikaan vääristymää. Tietyn taajuiset signaalit saattavat olla myös alttiita vääristymään erilaisissa sääolosuhteissa, kuten vesi- ja lumisateessa tai pilvisessä säässä. Myös PRN-koodit (Pseudo Random Noise) vaativat korkean taajuuden ja suuren kaistanleveyden kantaallolta siihen suoritettavan moduloinnin vuoksi. Näillä ehdoilla on valittu käytössä olevat kantaaltotaajuudet /9/.

Molempiin kantaaltoihin on vaihemoduloitu P-koodi (Precise) sekä $L1$ -taajuuteen C/A-koodi (Coarse/Acquisition). Näitä koodeja kutsutaan PRN-koodeiksi (kuva 6). Moduloitujen PRN-koodien avulla vastaanotin saa koodipseudoetäisyyden, siis joko P-koodin tai epätarkemman C/A-koodin avulla. P-koodi mahdollistaa tarkan PPS-paikannustarkkuuden (Precise Positioning Service), joka mahdollistaa n. 0,3 m:n tarkkuuden. Koodin tuottama algoritmi ei ole julkinen, ja se onkin varattu lähinnä sotilaskäyttöön. P-koodia lähetetään perustaaajuudella eli 10,23 MHz:lla. C/A-koodi lähetetään 10 kertaa pienemmällä taajuudella eli 1,023 MHz:lla, joten sen mahdollistama paikannustarkkuus teoriassa on n. 3 metriä. C/A-koodia käyttävät useimmat siviilikäytössä olevat käsivastaanottimet /2. s. 122/.



Kuva 7 GPS-signaali /20/

Itse tieto-osa (Navigation message) on 1500 bittiä pitkä ja se lähetetään joka 30. sekunti 50 bitin sekuntinopeudella. Tieto-osa sisältää satelliitin kellokorjauksen, ionosfäärin parametritietoja, satelliitin efemeridit eli ratatiedot sekä erilaisia satelliitin tilatietoja joita tarvitaan mm. satelliitin huollossa.

4.4 Paikannusmenetelmät

Satelliittipaikannuksessa voidaan erottaa monia eri menetelmiä ja mittausmoodeja. Tiedetyt paikannusmenetelmät mahdollistavat tarkemman paikannustarkkuuden ja auttavat vastaanotinta saamaan yhteyden satelliitteihin sellaisillakin katvealueilla joilla yhteyttä ei muuten voisi muodostaa. Tällaiset menetelmät vaativat yleensä laitteistolta erityispiirteitä tai lisälaitteita. Seuraavaksi perehdytään tarkemmin muutamaa paikannusmenetelmään.

4.4.1 Differentiaalinen GPS, DGPS

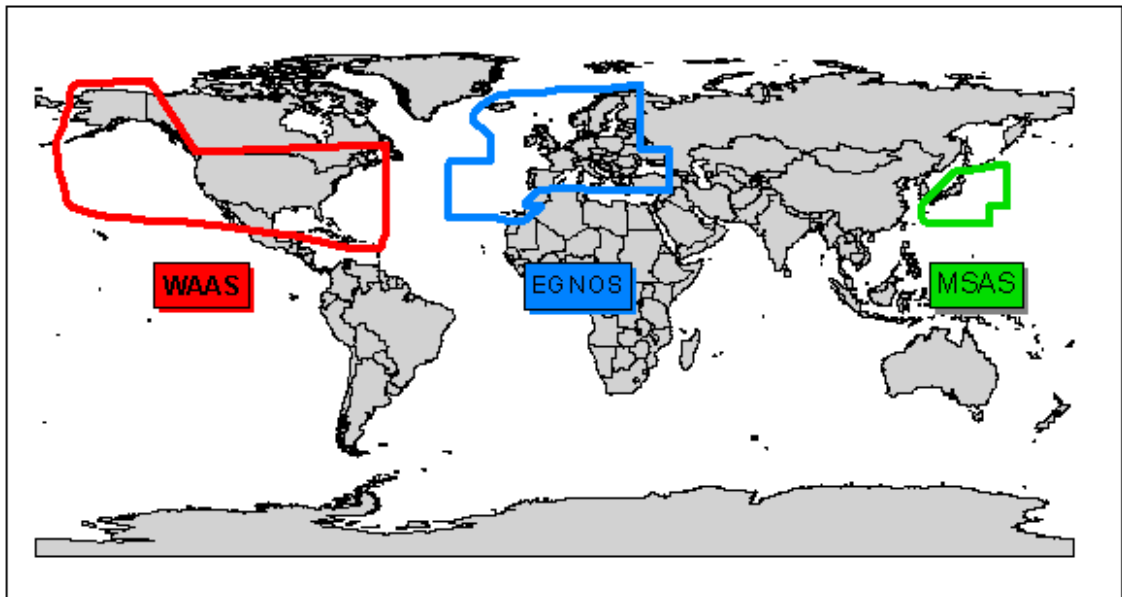
Differentiaalinen satelliittipaikannus perustuu GPS-tukiasemien laskemisiin korjaustietoihin ja niiden välittämiseen toiseen liikkuvaan vastaanottimen. GPS-tukiasema sijaitsee tarkasti määritetyllä tunnetulla pisteellä. Koska tukiasema tietää tarkasti oman sijaintinsa, se pystyy laskemaan virheen tiettyyn satelliittiin. Kun tukiasema lähettää havaitsemansa virheen tuntemattomassa paikassa olevaan liikkuvaan vastaanottimeen, se tekee virhettä vastaavan korjauksen omaan sijaintiinsa ennen koordinaattien laskemista.

Tukiasemasta käyttäjälle korjaustieto voidaan välittää radiolinkkien välityksellä mm. yleisradiotaajuuksia hyväksikäyttäen. Tukiaseman havaitsema virhe mittausetäisyydessä muuttuu jatkuvasti, joten yhteys liikkuvaan vastaanottimeen täytyy olla jatkuvaa. Menetelmällä voidaan poistaa tukiasemasta muutaman sadan kilometrin sisällä olevien vastaanottimien virheet, jolloin ratavirheet ja ionosfääristä aiheutuvat virheet vaikuttavat vielä suunnilleen samalla tavalla. Kaikki vastaanottimet eivät tue DGPS-tekniikkaa, ja palvelun käyttö on usein maksullista. Taulukossa 1 on suuntaa antavasti esitetty absoluuttisen GPS- ja DGPS-menetelmien virhelähteiden suuruudet /2. s. 202/.

Taulukko 1 Absoluuttisen ja differentiaalisen menetelmän virhelähteiden vaikutus paikannustarkkuuteen /26/

Error Source	Stand-alone (hand-held) GPS (m)	DGPS (m)
Satellite Clocks	3.0	0.0
Orbit Errors	2.7	0.0
Ionosphere	8.2	0.4
Troposphere	1.8	0.2
Receiver Noise	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6
User Equivalent Range Error	±9.4	±0.9

WAAS, EGNOS ja MSAS ovat DGPS-tekniikkaa tukevia järjestelmiä, joissa korjaustieto vastaanottimelle saadaan tukiasemien sijaan satelliiteista. WAAS (Wide Area Augmentation System) toimii Pohjois-Amerikassa, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) Euroopassa ja MSAM (Multi-functional Satellite Augmentation System) Aasiassa, tarkemmin Japanissa (kuva 8). Satelliittiperusteisella DGPS-tekniikalla voidaan kattaa laajempia alueita ja päästään parempiin tarkkuuksiin kuin maanpäällisten tukiasemien avulla. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että satelliittien tukemassa DGPS-tekniikassa korjaustieto saadaan suoraan satelliittista vastaanottimelle, jolloin virhettä aiheuttava siirtotie jää tukiaseman ja vastaanottimen välillä pois /19/.



Kuva 8 WAASin, EGNOSin ja MSAS:n toiminta-alueet /21/

4.4.2 Avustettu GPS, AGPS

Satelliittipaikannuksen ongelma ja heikkous on signaalien huono havaittavuus kaupunki- ja sisätiloissa. Esimerkiksi korkeiden rakennusten läheisyydessä tai tiheässä metsässä vastaanottimella saattaa olla vaikeuksia signaalin havaitsemiseen. Lisäksi GPS-laitteiden suureen virrankulutukseen on haettu parempia ratkaisuja. Sijaintitieto täytyy olla nopeasti käytettävissä, joten vastaanottimen on oltava jatkuvassa valmiudessa. Näitä ongelmia on saatu ratkaistua AGPS:llä, eli avustetulla GPS-menetelmällä.

Kun ilman AGPS-tekniikkaa oleva vastaanotin käynnistetään ensimmäistä kertaa sisätiloissa tai korkeiden rakennusten ympäröimänä, se ei välttämättä kykene lataamaan almanakka- ja efemeriditietoja eli satelliittien aika- ja paikkatietoja. Tämä estää vastaanottimen toiminnan, kunnes se jälleen pystyy luomaan satelliittiin jatkuvan, mahdollisesti useita kymmeniä sekunteja kestävä yhteyden. Aikaa, joka kuluu, kun satelliitti saa lähetettyä ratatiedot vastaanottimelle, kuvataan termillä TTFF (Time to First Fix), joka on normaalisti n. 30–60 s.

AGPS on siis tekniikka, jossa GPS-järjestelmää avustetaan matkapuhelinverkon avulla. AGPS nopeuttaa ensimmäisen paikkatiedon laskemista (TTFF) lähettämällä vastaanottimelle nopeasti satelliitin ratatiedot. AGPS:ssä satelliittitiedot lähetetään käyttäen nopeampaa tiedonsiirtoyhteyttä, joita ovat esimerkiksi GPRS, 3G tai WLAN. AGPS-

standardin mukaan matkapuhelinverkko välittää solulähetyksenä (cell broadcasting) satelliittien ratatiedot ja mahdollisesti niiden korjaustiedot vastaanottimelle. Tätä kutsutaan handset-based-tavaksi, jolloin sijainti lasketaan päätelaitteessa. AGPS voidaan toteuttaa myös niin, että sijaintitieto lasketaan verkon palvelimessa (network-based) /10/.

4.4.3 Reaaliaikainen kinemaattinen paikannus

Etenkin ammattikäytössä käytettävä reaaliaikainen kinemaattinen paikannus (RTK, Real Time Kinematic) mahdollistaa teoriassa todella tarkan paikannustarkkuuden. RTK –mittauksessa vaadittavat laskennat voidaan suorittaa reaaliajassa ja mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä. Menetelmällä päästään muutaman sentin paikannustarkkuuteen. Mittaus muistuttaa menetelmänä DGPS-paikannusta, mutta kiinteän tukiasemana tilalla toimii laitteiston oma mittausyksikkö, jonka tukemana tehdään mitauksia muutaman kilometrin säteellä.

Tavallisesti satelliitin ja vastaanottimen välinen kulku-aika saadaan, kun vastaanotin vertaa generoimaansa PRN-koodin kopiota satelliitin lähettämään signaaliin. RTK-menetelmässä periaate on sama, mutta PRN-koodin sijaan vastaanotin generoi kantoaalion kopion, jota se käyttää kulkuajan määrittämiseen. RTK-mittaus tehdään ns. relatiivisena mittauksena, jossa liikkuvan vastaanottimen paikka lasketaan tunnetussa pisteessä olevan mittausyksikön suhteen. Menetelmässä käytetään vähintään kahta samanaikaisesti mittaavaa vastaanotinlaitetta, joiden avulla määritetään satelliittien kantoaaltojen vaihe-ero. RTK-menetelmässä ei siis mitata absoluuttista paikkaa, vaan tuntemattoman paikan etäisyyttä ja suuntaa tunnettuun paikkaan, eli tukiasemayksikköön. Tarkimmat mittaustulokset saadaan tukiasemayksikön läheisyydessä, joka tarkoittaa alle 30 km:n etäisyyttä liikkuvan mittausaseman ja tukiaseman välillä. Menetelmää ei juurikaan käytetä rakentamisen ja maanmittauksen ulkopuolella sen kaluston ja mittausluonteen vuoksi. Perinteisen RTK-mittauksen ohelle on viime vuosina tullut kiinteisiin tukiasemiin perustuva verkko-RTK-menetelmä, jossa kartoitusvastaanottimen tarvitsemat korjaukset määritetään useamman kiinteän tukiaseman havainnoista erillisessä laskenta-keskuksessa /10,13/.

4.4.4 Virhelähteet

Suurin käänne GPS-maailmassa tapahtui vuonna 2000, jolloin tahallinen häirintä lopetettiin. SA-häirintä (Selective Availability) tarkoitti käytännössä Yhdysvaltain puolus-

tusministeriön heikentämiä satelliittien rata-, ja kellotietoja, jotka aiheuttivat käyttäjille suoraan huomattavasti epätarkemman paikannustarkkuuden kuin järjestelmä olisi mahdollistanut. Häirinnän suurin syy oli, että GPS-järjestelmää ei haluttu antaa vihollisten käyttöön. Kun Yhdysvaltain puolustusvoimat kehittivät uuden järjestelmän, joka mahdollisti GPS-järjestelmän eliminoinnin tietyllä alueella vaikuttamatta muun järjestelmän toimintaan häirintä poistettiin. GPS-järjestelmän monet eri sovellukset ja palvelut, jotka paransivat huomattavasti mm. kansalaisten turvallisuutta olivat myös motiivi häirinnän lopettamiselle.

Ilmakehän ionosfääri, troposfääri ja stratosfääri ovat elementtejä, jotka voivat muuttaa GPS-radiosignaalien kulkemaa matkaa. Ionosfäärissä on useampia eri kerroksia, jotka heijastavat ja taittavat radiosignaaleja. Satelliitin ja vastaanottimen välinen kulma on oleellinen heijastusvaikutuksen suuruuteen vaikuttava tekijä. Vaikutus on sitä voimakkaampi, mitä lähempänä horisonttia satelliitti on. Tätä vaikutusta on pyritty eliminimaan niin, ettei vastaanotin huomio neljän tai viiden asteen korkeudella horisontissa näkyviä satelliitteja. Ionosfäärissä virhettä aiheuttavat myös signaalia hidastavat varautuneet hiukkaset. Nämä virheet saadaan poistettua suhteellisen tarkasti vuorokauden aikojen, vuodenaikojen ja auringon 11-vuotisten aktiivisuusjaksojen vaihteluiden perusteella saatavien korjauskertoimien avulla. Maan pintaa lähempänä olevat troposfääri ja stratosfääri aiheuttavat hankalammin ennustettavia ja satunnaisempia virheitä. Näissä kerroksissa signaali kohtaa erilaisia epäpuhtauksia, vesihöyryä ja jäätä. Ilmakehän eri kerrosten vaikutus satelliitin ja vastaanottimen väliseen etäisyyteen on kuitenkin suhteellisen pieni, keskimäärin noin neljä metriä /1. s. 47/.

Satelliittigeometrialla tarkoitetaan horisontin yläpuolella olevien satelliittien kokonaisuutta ja niiden keskinäisiä suhteita. Vastaanotin ei kykene tarkkaan tulokseen, jos sen vastaanottamat signaalit tulevat keskenään huonossa asemassa olevista satelliiteista. Merkittävä virhe saattaa syntyä, jos vastaanotin lukee vain toisiaan lähellä olevia satelliitteja, jolloin tarkkuus saattaa heikentyä jopa 100 metriin. Satelliittigeometriaa tarkkaillaan GDOP-luvun (Geometric Dilution of Precision) perusteella. Pieni GDOP-luku indikoi hyvää paikannustarkkuutta, jos havaitut satelliitit ovat sijoittuneet tasaisesti taivaalle ja ovat kaukana toisistaan. Nykyään peruspaikantimetkin osaavat huomioda satelliittigeometrian vaikutuksen /1. s. 49 - 50/.

Muita paikannusvirhelähteitä tuovat, monitieheijastuminen, paikantimen virheet ja käyttäjän virheet. Monitieheijastusta syntyy, kun radiosignaali ei tule vastaanottimeen suorinta tietä, vaan heijasteena jostakin lähellä olevasta pinnasta. Heijastusta voivat aiheuttaa esimerkiksi järven pinta, rakennus, peltikatto tai auton konepelti. Kuten ilmakehän virheiden eliminoinnissa, monitieheijastusta voidaan vähentää jättämällä lähellä horisonttia olevien satelliittien signaalit vastaanottamatta. Lisäksi pientä virhettä aiheutuu jo aiemmin käsitellyistä satelliittien rata- ja kellovirheistä.

5 GSM-VERKKOPAIKANNUS

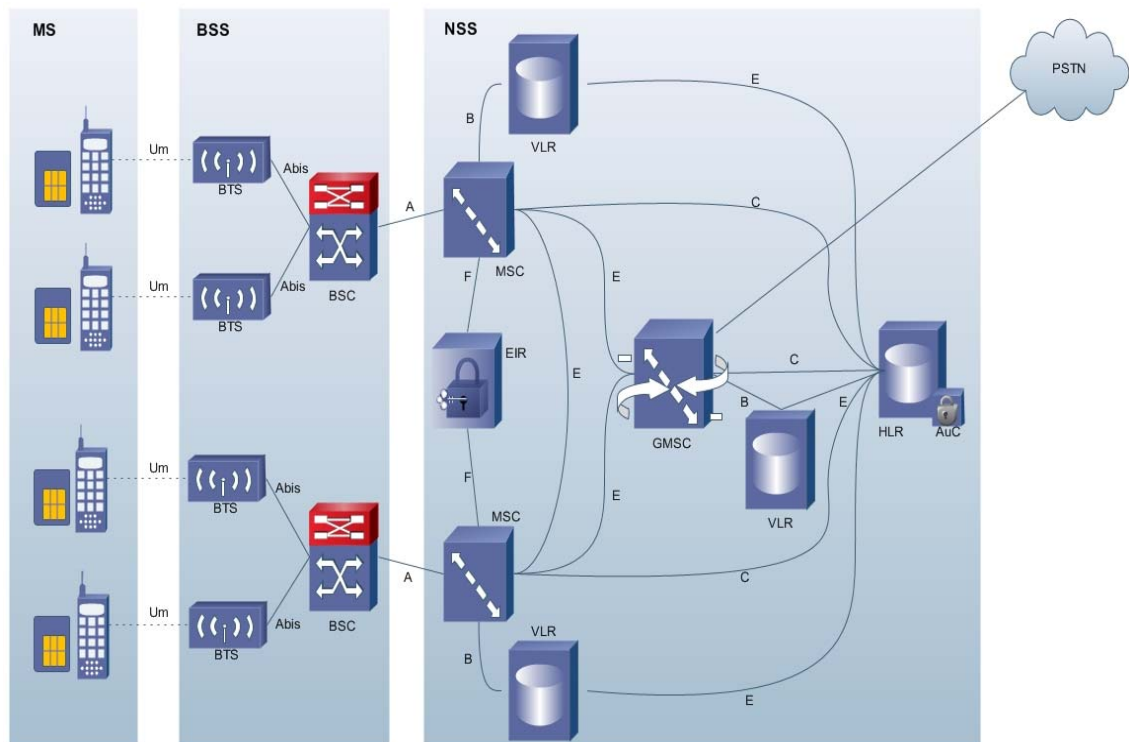
Matkapuhelinta voidaan käyttää paitsi puhumiseen myös paikanmääritykseen. GSM-paikannuksen lähtökohta on täysin erilainen verrattuna GPS-järjestelmään, joka on suunniteltu varta vasten maailmanlaajuiseen paikannukseen. GSM-järjestelmään ei alunperin suunniteltu ollenkaan paikannusominaisuutta, vaikka se olikin mahdollista heti ensimmäisten tukiasemien myötä. Matkapuhelimien yleistymisen myötä GSM-paikannuksesta on muodostunut kuitenkin tärkeä järjestelmä GPS:n rinnalle.

GSM-paikannuksen suurin etu verrattuna GPS-järjestelmään on huomattavasti suurempi päätelaitteiden määrä. Toinen oleellinen seikka on kustannukset. Koska GSM-paikannuksessa paikannustieto saadaan järjestelmästä ikään kuin sivutuotteena, suuria perustamiskustannuksia ei tietyille paikannuspalveluille ole. Tämä tarkoittaa, ettei käyttäjienkään välttämättä tarvitse tehdä uusia laitehankintoja hyödyntääkseen tiettyjä paikannuspalveluja.

Verkkopaikannus maksaa aina joko matkapuhelinverkko-operaattorille tai kuluttajalle. Operaattoreiden kustannukset liittyvät matkapuhelinverkkojen mahdollisiin muutostöihin ja niiden ylläpitoon, jolloin kulut nousevat mahdollisesti todella suuriksi. Kuluttajalle paikannuspalveluiden käytöstä aiheutuvat kulut tarkoittavat lähinnä uuden laitteen hankintaa tai sen päivittämistä, jos nykyinen puhelin ei tue käytettävää järjestelmää. Tyypillistä lisäksi on, että paikannuspalveluiden käyttö on käyttäjälle maksullista.

5.1 Matkapuhelinverkon rakenne

Matkapuhelinverkko koostuu keskusjärjestelmästä (NSS, network and switching sub-system), tukiasemajärjestelmästä (BSS, base station sub-system), matkapuhelimista (MS, mobile station) sekä keskusjärjestelmää ja tukiasemia ohjaavasta käytönhallintajärjestelmästä (kuva 9).



Kuva 9 Matkapuhelinverkon rakenne /22/

Matkapuhelinyksikkö koostuu SIM-kortista (Subscriber identity module) ja matkapuhelinlaitteesta (ME, mobile equipment). Molemmilla on oma tunnistenumerosa. SIM-kortin numerosarjaa kutsutaan IMSI-tunnisteeksi (International mobile subscriber identity), ja matkapuhelinlaitteen vastaavaa IMEI-tunnisteeksi (International mobile equipment identity). Tunnistenumeroita tarvitaan, jotta matkapuhelin voidaan yksilöidä ja tunnistaa verkosta /11/.

Matkapuhelin on radiorajapinnan (Air-interface) kautta yhteydessä BSS:n tukiasemiin (BTS, base transceiver station) (kuva 10). Yksi tukiasema muodostaa yhden solun. Solu tarkoittaa käytännössä yhden tukiaseman kattamaa aluetta, jolla alueen radiolähteet ovat vastaanotettavissa hyväksyttävän laatusina. Kullakin solulla on oma tunnisteensa

(CI, cell identity), joka käytännössä kertoo missä tukiasema sijaitsee. Solun kokoon vaikuttavat mm. maaston muoto, antennien ominaisuudet ja sijainti, vastaanottimien herkkyytasot ja lähettimien tehotasot.



Kuva 10 Tyypillinen GSM-tukiasema /23/

Kun matkapuhelin on valmiustilassa, se on leirytyneenä yhden solun alueelle. Kun matkapuhelimella soitetaan, alkaa signaaliliikenne kulkea tukiasemaan päin. Matkapuhelimeen soitettaessa, GSM-verkko paikantaa ennen yhteyden muodostamista matkapuhelimen sijainnin. Tukiasemien tehtävänä on huolehtia signaloinnista, salauksesta ja puheenmuodostuksesta radorajapinnassa. Tukiasemia ohjaavat tukiasemaohjaimet (BSC, base station controller) /11/ .

Tukiasemaohjaimet ovat yhteydessä matkapuhelinkeskuksiin (MSC, mobile services switching centre). Matkapuhelinkeskuksen tärkein tehtävä on matkapuhelimesta tulevien ja siihen päättyvien kutsujen välittäminen. Yksi matkapuhelinkeskus voi hallita muutamia tukiasemajärjestelmiä ja se voi palvella noin miljoonaa tilaajaa. Matkapuhelinverkkoon kuuluvat keskeisenä osana eri tilaajarekisterit, jotka ovat yhteydessä matkapuhelinkeskuksiin. Rekistereitä ovat kotirekisteri (HLR, home location register), vierailijarekisteri (VLR, visitor location register), laitetunnistusrekisteri (EIR, equipment identity register) ja tunnistukeskus (AUC, authentication centre). Kotirekisteri sisältää matkaviestinliittymän haltijan keskeiset tiedot joita ovat mm. liittymän puhelinnumero, IMSI-tunnistusnumero ja tieto tilaajan mahdollisista lisäpalveluista. Vierailijarekisterin tehtävänä on toimia kotirekisterin sijaisena, kun matkapuhelin liikkuu kotiverkon ulko-

puolella. Jos vierailijarekisteri ei saisi asiakkaan tietoja kotirekisteristä, matkapuhelin olisi käyttökelvoton kotiverkon ulkopuolella. Tämän vuoksi eri operaattoreiden kesken on sovittu ns. roaming-sopimuksesta, joka mahdollistaa matkapuhelimen käytön myös muualla kuin kotiverkossa /12/.

Yhden matkapuhelinkeskuksen verkon peittämää aluetta kutsutaan keskusalueeksi. Jokainen keskusalue koostuu sijaintialueista ja yksi sijaintialue koostuu useammista soluista. Kun matkapuhelin liikkuu, GSM-verkko päivittää sen sijaintitietoa. Sijaintitieto päivitetään kotirekisteriin ja lähimpään vierailijarekisteriin. Tällä tavoin GSM-verkko on aina sijaintialueen tarkkuudella selvillä missä päin maailmaa matkapuhelin sijaitsee. Laiterekisteriin tallentuvat matkapuhelinten IMEI-tunnisteet. Laiterekisterin avulla verkko voi halutessaan tarkastaa puhelimen tiedot ja mahdollisesti estää puhelimen käytön esimerkiksi varkaustilanteissa. Tunnistuskeskuksen avulla voidaan estää soittajaa käyttämästä matkapuhelinverkkoa jos siihen ei ole oikeutta. Laiterekisteri ja tunnistuskeskus eivät ole välttämättömiä verkon toiminnalle /12/.

5.2 Verkkopaikannusmenetelmät

Kun Yhdysvalloissa vuonna 1996 määrättiin, että hätäpuhelut tulee paikantaa vuoteen 2001 mennessä, verkkopaikannusmenetelmien kehitys kiihtyi. Seuraavassa käydään läpi muutamia merkittävimpiä menetelmiä.

Lähtökohtaisesti kun matkapuhelin on päällä, matkapuhelinverkko ylläpitää paikannustietoa jatkuvasti sijaintialueen tarkkuudella. Sijaintialue on pienin maantieteellinen alue johon kutsu saapuvasta puhelusta reititetään. Tämän vuoksi GSM-verkon pitää olla selvillä millä sijaintialueella puhelin sijaitsee. Koska jatkuva paikannus vie paljon resursseja, GSM-paikannus ei ole mahdollista toteuttaa jatkuvana. Käytännössä järjestelmällä onkin mahdollista tehdä vain yksittäisiä paikkapyyntöjä. GSM-paikannuksessa sijaintitieto voidaan laskea joko matkapuhelinverkon palvelimessa tai käyttäjän matkapuhelimessa /3. s. 122 - 123/.

5.2.1 Solupaikannus (CGI, Cell Global ID)

Solupohjainen paikannus on yksinkertaisin verkkopaikannusmenetelmä. Koska se käyttää vain yhtä tukiasemaa paikkatiedon saamiseen, se on samalla myös selvästi epätarkin.

Solupaikannuksen paikannustarkkuus on suoraan verrannollinen sen solun kokoon jossa päätelaite sijaitsee, tämän vuoksi paikkatieto on usein vain suuntaa antava. Solupaikannus toimii jokaisessa matkapuhelimessa, eikä vaadi erityisiä muutoksia verkkoon.

Solupaikannusmenetelmä perustuu GSM-järjestelmän peittoalueen muodostavien solujen sijaintitietoihin. Tukiasema sijaitsee tunnetulla pisteellä ja niiden peittoalueet tiedetään. Tukiaseman tarkan sijainnin ja antennin asennon perusteella saadaan selvitettyä matkapuhelimen sijainti. Antennin asennon perusteella saadaan selville signaalin lähtö- ja tulokulmat, jotka auttavat solun koon määrittämisessä. Kun matkapuhelimeen soite- taan, matkapuhelinverkko tarkistaa puhelimen sijainnin ja lähettää alueella olevilta tukiasemilta kutsun taajuudella jota puhelin kuuntelee. Puhelin havaitsee tukiasemilta saapuneet kutsut ja ottaa yhteyden voimakkaimpana näkyvään tukiasemaan. Voimak- kaimman signaalin puhelin saa sen lähellä olevista tukiasemista. Tässä vaiheessa saa- daan tieto puhelimen sijainnista sen solun tarkkuudella johon yhteys muodostetaan.

Paikan laskemiseen käytetään yleisesti solun pinta-alan painopistettä, joka muodostuu solun keskelle. Koska solujen koot vaihtelevat muutamista sadoista metreistä aina 35 kilometriin asti, paikannustarkkuus heittelee suuresti. Kaupungeissa solutunnistekniik- kalla päästään parhaaseen tarkkuuteen pienempien solujen ansiosta. Solupaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa TA-tekniikalla (Time Advance), joka mittaa tukiasemalta tulevan signaalin kulkuajan. Kuten GPS-järjestelmässä, kulkuajan avulla voidaan laskea etäisyys tukiasemaan. Kun etäisyys tukiasemaan on selvillä, tarkentuu matkapuhelimen paikka etäisyyden muodostamalle kaarelle siihen soluun jossa matkapuhelin sijaitsee /4 s. 203 - 204/.

5.2.2 Saapumiskulman mittausta (AOA)

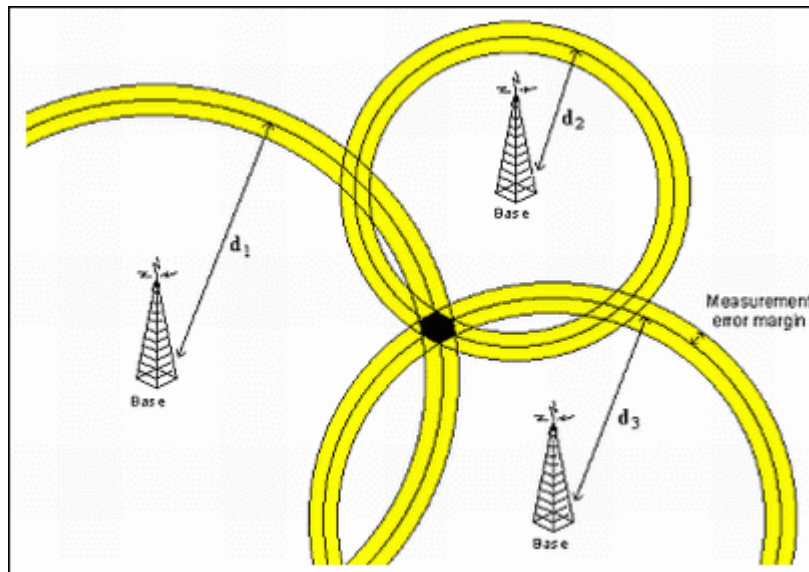
Saapumiskulman mittausta AOA (Angle of arrival) perustuu tukiasemien suunta- antennien mittaamiin signaalin saapumiskulmiin. Paikkatiedon saamiseksi saapumis- kulmatieto täytyy saada vähintään kahdelta eri tukiasemalta. Matkaviestimen paikka saadaan rajattua saapumiskulmajanojen risteämiskohdasta. Menetelmällä voidaan päästä hyviin paikannustarkkuuksiin, mutta tulokset ovat erittäin herkkiä virheille. Tulos on tarkka vain silloin, kun signaali tulee suoraan tukiasemalle. Virhettä syntyy tällä tavalla helposti, sillä signaali tulee usein tukiasemalle heijastumisen kautta. AOA-menetelmällä saatavat paikannustarkkuudet liikkuvat 0,1 - 2 km:n rajoissa.

Tekniikka vaatii tukiasemien välille yhtenäisiä toimintamalleja, joka kasvattaa järjestelmän kuormitusta. Menetelmä on suhteellisen kallis rakentaa eri ohjelmisto- ja laite-muutosten vuoksi. Muutoksia ei kuitenkaan tarvitse tehdä matkaviestimiin vaan kaikki muutokset tulevat verkkoon /4. s. 207/.

5.2.3 Aikaeropaikannus (E-OTD) ja saapumisaikapaikannus (TOA)

Solupaikannuksen lisäksi verkkopaikannusjärjestelmään on standardoitu kaksi eri paikannusmenetelmää E-OTD ja TOA, jotka molemmat perustuvat kolmiomittauksen periaatteeseen. Ne mahdollistavat n. 50 - 300 metrin paikannustarkkuuden riippuen tukiasemaverkon tiheydestä. Nämä menetelmät vaativat kuitenkin muutoksia matkapuhelimeen, verkkoon tai molempiin, jonka vuoksi ne eivät vielä ole saaneet suuria käyttäjämääriä.

Aikaeropaikannus käyttää hyväkseen eri GSM-tukiasemilta vastaanottamiaan signaaleja ja laskee niiden aikaerot. Aikaerojen perusteella saadaan määritettyä etäisyydet tukiasemiin. Paikannustietojen saamiseen riittää 1-2 sekunnin mittaus matkaviestimessä. Aikavirheet jotka syntyvät aikaeron laskennassa huomioidaan korjausten avulla. Korjaus saadaan ottamalla huomioon tukiasemien lähetysaikojen ero- ja kulku-aika matkaviestimen ja tukiaseman välillä. Mittaustietojen perusteella saadaan luotua kaavat paikkatietojen laskemiselle. Matkapuhelimen paikka rajautuu tukiasemien etäisyyksien perusteella niiden muodostamaan leikkauskohtaan (kuva 11). Menetelmä on periaatteeltaan käytännössä vastaava kuin absoluuttinen paikannus GPS-järjestelmässä. Satelliittien tilalla käytetään vain tukiasemia. E-OTD menetelmällä saavutetaan suhteellisen hyviä paikannustarkkuuksia, jolloin sitä voidaan käyttää esimerkiksi tiettyyn kaupunginosaan suunnistamiseen /3. s. 204 - 205, 10, 11/.



Kuva 11 Pyöreän E-OTD-menetelmän toimintaperiaate /24/

Saapumisaikapaikannuksessa matkapuhelin lähettää signaalia kaikkiin tavoitettavissa oleviin tukiasemiin, jotka mittaavat signaalin saapumisajan. Tukiasemat vertaavat keskenään saapuneen signaalin aikaeroa, laskevat sen perusteella paikkatiedon ja lopuksi lähettävät sen takaisin kännykälle. AOA voidaan nähdä E-OTD:n vastakohtana, sillä nyt mitattavan signaalin suunta on toisinpäin. Tekniikka ei vaadi muutoksia matkapuhelimiin, mutta vaatii mittayksikön asentamisen tukiasemaverkkoon. Aikojen tarkkaa määrittystä varten tukiasemat on synkronoitava atomikelloilla tai GPS:n avulla.

5.2.4 Korrelaatiopaikannus

Verkkopaikannuksen tarkimmat käytännön mittaustulokset on saatu menetelmillä, jotka perustuvat signaalivoimakkuuksien kartoitukseen. Menetelmässä päätelaitteen havaitsemaa signaalia verrataan alueesta laadittuun signaalikarttaan, jonka perusteella paikkatieto määritetään. Tietokantakorrelaatiomenetelmässä ylläpidetään tietokantaa, johon voidaan tallentaa signaalien voimakkuuksia, kulkuaikoja tai muuta signaaleihin liittyvää informaatiota. Alustavien tietojen pohjalta voidaan suorittaa korrelaatiovertailu ja määritettyä paikkatieto. Erilaisilla korrelaatiomenetelmillä päästään 30 - 50 metrin tarkkuuteen ennalta mitatuissa kaupunkiympäristöissä ulkona. Sisätilojen kartoitus on huomattavasti vaikeampaa toteuttaa, sillä muutokset ympäristössä edellyttävät aina uusia mittauksia. Korrelaatiomenetelmä soveltuu matkapuhelimien paikannukseen parhaiten kaupunkien keskustoissa /10/.

5.2.5 Verkkopaikannus 3G-verkoissa

3G-verkossa käytetään suurempaa kaistanleveyttä ja taajuutta kuin GSM-verkossa. Tämän johdosta vastaavilla paikannusmenetelmillä päästään parempiin tarkkuuksiin 3G-verkon puolella. Edestakainen kulku-aika RTT (Round trip time) on yksi 3G-verkon paikannusmenetelmä. Se on toimintaperiaatteeltaan vastaava kuin GSM-verkossa käytettävä TA-tekniikka, mutta RTT mittaa edestakaisen signaalin kulkuajan. Matkaviestimen ja tukiaseman välinen etäisyys voidaan laskea, kun tiedetään signaalin kulku-aika matkaviestimeen ja sieltä takaisin tukiasemaan.

Toiseksi 3G-verkkojen paikannusmenetelmäksi on esitetty OTDOA-IPDL-lähetyskatkomenetelmää (Observed time difference of arrival – Idle period down link). Menetelmä perustuu samaan periaatteeseen kuin 2G-verkossa käytettävä E-OTD-tekniikka, mutta siinä käytetään lisänä tekniikkaa jota GSM-verkossa ei ole. 3G-verkoissa tukiasemien lähetyksessä on tyhjiä jaksoja joita matkaviestimet käyttävät muiden tukiasemien kuunteluun. Paikanlaskeminen perustuu tyhjien periodien välisen ajan mittaamiseen.

3G-verkon paikannusmenetelmät ovat kehitysasteella, joten vakiintuneita menetelmiä ei vielä ole. Tiedetään kuitenkin jo, että kolmannen sukupolven verkkojen paikannusmenetelmät mahdollistavat tulevaisuudessa GSM-verkkoa paremmat paikannustarkkuudet. Erilaisilla testeillä ja simuloinneilla on saatu jo lupaavia tuloksia varsinkin maaseuduilla ja esikaupunkialueilla /4. s. 208 - 209, 10/.

6 GPS- JA GSM-PAIKANNUKSEN SOVELLUSALUEET

Erilaisia GPS- ja GSM-paikannussovelluksia on kehitetty lukemattomia määriä ja uusia sovelluskohteita tulee määräjain lisää. Sovellukset voidaan jaotella monin eri tavoin, kuten käyttäjän tarpeiden perusteella (kuva 12). Turvallisuutta parantavat sovellukset, kuten hätäpuhelupaikannus on pelastanut pelkästään Suomessa useita henkiä. Peruskäyttäjille tutuin ryhmä lienee erilaiset navigointisovellukset ja palvelut, jotka helpottavat haluttuun paikkaan löytämistä. Kaverihakusovellukset ja erilaiset paikannukseen perustuvat pelit voidaan mieltää myös omaksi ryhmäksi. Seuraavaksi tutustutaan muutamiiin eri paikannussovelluksiin ja sovellusalueisiin.



Kuva 12 Paikannussovellusten ryhmittely käyttökohteen mukaan /10/

Yleisesti verkkopaikannussovellukset voidaan jakaa push- ja pull-palveluihin. Push-palvelut lähettävät viestejä, jotka eivät ole tai ovat epäsuorasti vastaanottajan pyytämiä. Tällaiset palvelut aktivoituvat esimerkiksi tietylle alueelle saavuttaessa tai niille määrätyn lähetysajan perusteella. Yleistäen push-palvelu on palvelu, jota palveluntarjoaja lähettää vastaanottajasta riippumatta. Ei pyydetyn viestin sisältö voi olla mainos saavuttaessa ostoskeskukseen tai erilaiset hätävaroitukset esimerkiksi tsunami- tai hurrikaanivaarasta. Epäsuorasti pyydetty push-palveluviestit voivat olla erilaiset uutispalvelut, joissa käyttäjä saa tietyltä alueelta säännöllisesti viestejä sen jälkeen kun on rekisteröitynyt palvelun tilaajaksi.

Pull-palveluissa palveluntarvitsija tekee aina aloitteen. Tämä muistuttaa Internet-sivujen selaamista, jossa käyttäjä kutsuu haluamaansa sivua kirjoittamalla sen osoitteen. Palvelu lähetetään asiakkaan päätelaitteeseen mahdollisimman nopeasti, kun pyyntö on rekisteröity. Pull-palvelut tilataan aina johonkin tarpeeseen ja ne ovat usein maksullisia.

Push-palvelujen ongelmana on jatkuvan paikannuksen tarve ja paikannustarkkuus. Ongelmaa kuvastaa hyvin ravintola-esimerkki, joka lähettää kaikille lähellä sijaitseville päätelaitteille mainosviestin. Jotta palvelu toimisi oikein se tarkoittaisi, että matkapuhe-

linta paikannettaisiin jatkuvasti. Tämä puolestaan johtaa verkkokapasiteetin uhraamiseen pelkästään paikannustarkoitukseen ja kustannuskysymyksiin. Pull-palvelut ovat helpompi alue sovelluksille, eikä niitä mielletä ns. roskapostipalveluiksi kuten usein push-palveluiden kautta tulevat mainokset. Kun käyttäjä saapuu uuteen kaupunkiin ja etsii ravintolaa, hän voi lähettää maksullisen viestin palvelunumeroon, joka paikantaa asiakkaan päätelaitteen ja lähettää alueella olevien ravintoloiden osoitteet. Pull-palvelut ovat huomattavasti push-palveluita yleisempiä juuri ansaintalogiikan ja asiakkailta perittävien palvelumaksujen vuoksi /4. s. 212 - 213/.

Turvallisuutta parantavat sovellukset

Paikannussovellukset joita jatkuvasti pyritään kehittämään ovat turvallisuussovellukset, joiden avulla ihminen voidaan paikantaa hätätilanteissa. Suurin osa hätäpuheluista paikannetaan, sillä se antaa tärkeää lisätietoa ja varmennusta sille, että apu lähetetään oikeaan paikkaan. Suomessa tehtävä hätäpuhelu paikannus perustuu solupaikannukseen, jossa käytännön paikannustarkkuudet kaupunkialueilla ovat 50 - 400 metriä, esikaupunkialueilla 100 - 1000 metriä ja taajamien ulkopuolella sekä isoilla vesistöalueilla 1 - 5 kilometriä. Harvaan asutuilla alueilla ja merialueilla paikannustarkkuudet saattavat olla jopa kymmeniä kilometrejä. Koska matkapuhelinpaikannuksen tarkkuudet vaihtelevat suuresti, se ei ole vielä riittävä ollakseen ensisijainen paikannustapa. Kun markkinoille lisääntyvät GPS-ominaisuuksilla varustetut matkapuhelimet, voidaan solutiedon rinnalle ottaa satelliittipaikannukseen perustuvaa lisätietoa, joka mahdollistaa myös paremman paikannustarkkuuden. Paikannustekniikkaa voidaan myös integroida esimerkiksi vaatteisiin. Turvallisuussovelluksissa tämä tarkoittaa paikantimen ja käyttäjän elintoimintojen tarkkailua suorittavan vaateen yhdistämistä, jossa vaate osaa hälyttää automaattisesti apua oikeaan paikkaan esimerkiksi liikenneonnettomuustilanteissa /10, 14/.

Seuranta- ja navigointisovellukset

Navigointisovellukset palvelevat käyttäjiä, jotka tarvitsevat opastusta tiettyyn maantieteelliseen kohteeseen. Perinteiset GPS-navigaattorit ovat kehittyneet jo asteelle, jossa laitteissa on kattava karttakäyttöliittymä ja erilaisia opastustoimintoja. Kehittyneimmät navigaattorit tottelevat myös puheohjausta. Karttojen lisäksi navigaattoreihin kehitetään koko ajan uusia POI-kohteita (Point of interest), joita voidaan lisätä päivitystä tukeviin laitteisiin. POI-kohteet ovat navigointilaitteessa sijaitseva tietokanta kartan alueella sijaitsevista kohteista, kuten huoltoasemista, ravintoloista tai nopeusvalvontakameroista. Perinteisten autonavigaattoreiden lisäksi saatavilla on huomattavasti pienempiä apuvälineitä. Etenkin urheilijoita palvelee käytännöllisemmät ranne-GPS-laitteet (kuva 13), jotka auttavat urheilusuorituksen parantamisessa ja ohjaavat sitä optimaalisempaan suuntaan.



Kuva 13 Garmin Forerunner 305 /25/

Erityisesti kuljetusalan liikkeitä palvelee ajonhallintasovellukset, joilla voidaan seurata ajoneuvojen liikettä. Järjestelmä koostuu yleensä GPS-vastaanottimella varustetusta paikannettavasta yksiköstä ja GSM-, SMS-, GPRS- tai satelliittiyhteyksiä käyttävästä modeemista. Asiakkaan asetusten mukaisesti järjestelmä lähettää automaattisesti kerätyn tiedon toisaalla sijaitsevalle työpäätteelle. Suurin etu järjestelmän käyttämisessä liittyy ajojärjestelyiden suunnitteluun, jolloin liikenteessä lähimmälle vapaalle ajoneuville voidaan suoraan osoittaa uusi kohde. Järjestelmän avulla voidaan tehostaa ja valvoa toimintaa, sekä säästää merkittäviä summia polttoainekustannuksissa.

GPS-tekniikkaa käytetään nykyään avuksi myös moottoriturheilussa. Gps-vastaanotin toimii moottoriajoneuvossa tietokonepohjaisen ohjauksen osana neuvomassa kuljettajaa toimimaan radan tietyssä kohtaa tietyllä tavalla, kuten esimerkiksi indikoimaan vaihteiden vaihtoa. Tulevaisuudessa paikannustekniikan avustamana voidaan turvallisesti ohjata miehittämättömiä ajoneuvoja muun liikenteen seassa. Tällaisia ajoneuvoja voidaan jo nähdä Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio DARPA:n järjestämässä kilpailussa, jossa miehittämättömät ajoneuvot navigoivat täysin itsenäisesti paikannustekniikan ja erilaisten sensoreiden avulla. Ajoneuvoja testataan kaupunkiolosuhteita muistuttavalla radalla, jossa ne joutuvat navigoimaan liikenneympyröissä, ajamaan vilkkaissa risteyksissä ja välttämään esteitä.

Pienempikokoisia vastaanotinyksiköitä voidaan käyttää eläinten seurannassa. Villieläinten seurannan avulla voidaan kerätä arvokasta tietoa niiden elinalueesta ja muusta liikehinnästä. Yksinkertaisimmat ratkaisut perustuvat eläimeen kiinnitettäviin passiivisiin vastaanottimiin ja niiden keräämään dataan laitteen sisäiseen muistiin. Kehittyneemmät laitteet lähettävät säännöllisin ajoin tietoa matkapuhelinverkon avulla, tai kaksisuuntaisissa järjestelmissä laitetta kutsuttaessa. Kalliimmat järjestelmät perustuvat GPS-tekniikkaan ja jatkuvaan paikkatietojen välittämiseen. Metsästyksen jahtikoirille on kehitetty seurantasovellus, jossa koiran GPS-pannan ja matkapuhelimeen tilattavan karttasovelluksen avulla voidaan seurata koiran liikettä ja riistatyötä.

Viihteelliset sovellukset

Paikannusta hyödynnetään yhä enemmän myös peleissä ja leikeissä. Mainitsemisen arvoinen on suuren suosion saanut geokätköily (geocaching), jossa normaalisti GPS-laitteen avulla etsitään piilotettuja geokätköjä. Kätkön sijaintikoordinaatit ilmoitetaan muille harrastajille normaalisti Internet-sivustolla. Kätkö on normaalisti vesitiivis rasia, joka sisältää yleisesti harrastuksesta kertovan geokätkötiedotteen ja lokikirjan johon kätkön löytäjät voivat kirjata käynnit kätköllä. Kätkön löytäjä voi halutessaan piilottaa uuden geokätkön. Geokätköily on nykyään maailmanlaajuinen harrastus, ja aktiivisia kätköjä on yli 700 000 piilotettuina ympäri maapalloa kaikille mantereille.

7 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Työn tavoitteena on tutustuttaa satelliitti- ja verkkopaikannukseen sekä erilaisiin paikannussovelluksiin. Työssä keskityttiin GPS-järjestelmän ja matkapuhelinverkon perusrakenteeseen ja niiden eri elementteihin, erilaisiin paikannusmenetelmiin sekä muutamien esimerkkien avulla paikannusta hyödyntävien sovellusten esittelyyn. Yksityiskohteisemmin selvitettiin GPS-järjestelmän toimintaperiaatetta.

Eri paikannusmenetelmät mahdollistavat eri paikannustarkkuuksia. GPS-järjestelmässä suurin paikannustarkkuuteen suoraan vaikuttava tekijä on kellovirhe. Koska etäisyyksien määrittäminen perustuu kulkuajan mittaamiseen, pienikin kellovirhe aiheuttaa etäisyyteen suuren virheen. Verkkopaikannuksessa paikannustarkkuudet jäävät selvästi GPS-tarkkuuksia heikommiksi. Parempia tarkkuuksia saavutetaankin erilaisilla hybridimenetelmillä, jotka käyttävät molempien järjestelmien tekniikkaa. Tällainen menetelmä on AGPS, joka on jo varsin yleisessä käytössä. Markkinoilla on useita GPS-vastaanottimella varustettuja ja AGPS-tekniikkaa tukevia matkapuhelimia, joiden käytön odotetaan yleistyvän tulevaisuudessa.

GPS:sta on muodostunut tärkeä järjestelmä ja korvaamaton apuväline eri alojen työtehtävissä ympäri maailmaa. Vaikka järjestelmä on alunperin kehitetty sotilaskäyttöön, ja sen ylläpitäminen suoritetaan nykyäänkin Yhdysvaltain puolustusvoimien omien tarpeiden ehdoilla, GPS-järjestelmän merkitys on suuri niin yrityksille, viranomaisille kuin siviilikäyttäjillekin. GPS-tekniikkaa hyödyntäviä käyttökohteita on lukematon määrä ja uusia sovelluksia kehitetään. Merkittävä seikka on, että GPS-järjestelmän käyttäminen on vaadittavien laitehankintojen jälkeen ilmaista. Ilmaisen käytön ansiosta järjestelmää voivat hyödyntää nekin, jotka eivät muuten olisi paikannuspalveluista valmiita maksamaan. Tämän takia GPS-tekniikkaa voidaan huolettomammin käyttää jokapäiväisenä apuvälineenä vaikkapa yritysten toimintaa tehostamassa, näkörajoitteista ohjaamassa tai uhanalaisten villieläinten suojelutyössä.

Satelliittipaikannuksen tärkeydestä antaa viitteitä myös se, että kehitteillä on GPS:n lisäksi uusia järjestelmiä. EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) on tällä hetkellä kolmen satelliitin järjestelmä, joka täydentää GPS:n ja Venäjän

oman satelliittijärjestelmän, GLONASS:n satelliitteja. EGNOS tulee tulevaisuudessa laajenemaan itsenäiseksi eurooppalaiseksi, 30 satelliitin Galileo-satelliittipaikannusjärjestelmäksi. Sen tarkoituksena on rakentaa Euroopan maille riippumaton paikannusjärjestelmä, joka tarjoaa paremman paikannustarkkuuden ja paremmat ominaisuudet korkeilla leveysasteilla kuin GPS-järjestelmä. Järjestelmä on tarkoitettu palvelemaan siviilikäyttäjiä ja sen odotetaan valmistuvan vuonna 2013.

GSM-paikannus ei ole saavuttanut yhtä merkittävää roolia verrattuna GPS-paikannukseen. Suurin syy liittyy siihen, että verkkopaikannustekniikalla ei saavuteta samankaltaisia paikannustarkkuuksia kuin satelliittipaikannuksella. GSM-verkko onkin paikannuspalveluiden kehityksen kannalta jo osittain taantumassa, sillä verkkovalmistajat panostavat jo kolmannen sukupolven UMTS-verkkoon. GSM-paikannusta ei kuitenkaan tulla hylkäämään, sillä sen merkittävin etu on päätelaitteiden valmiiksi suuri määrä. Koska lähes kaikki omistavat matkapuhelimen, matkapuhelinpaikannuksella voi olla tärkeä rooli sellaisissa hätätilanteissa, joissa paikannettava on eksynyt tai ei kykene itse ilmoittamaan sijaintiaan. Matkapuhelinpaikannuksella on kaikki valmiudet toimia myös rikosten selvityksen apuvälineenä. Toisaalta yksityisyyttä suojaava lainsäädäntö asettaa rajoituksia paikannuksen käytölle. Kunnollisia GPS-ominaisuuksilla varustettuja matkapuhelimia ei ole ollut vielä kauaa saatavilla. GPS-matkapuhelinten yleistyessä on mahdollista kehittää paikannuspalveluita edelleen, jolloin solutiedon rinnalla käyttäjälle voidaan siirtää satelliittipaikannukseen perustuvaa tarkempaa tietoa mm. hätäkeskuksen käyttöön.

Lähitulevaisuudessa lähes jokaisesta uudesta matkapuhelimesta löytyy GPS-vastaanotin. Se osoittaa, että erilaiset paikannuspalvelut koetaan tärkeiksi tulevaisuudessaakin. Pitkällä tulevaisuudessa ei liene ajatus, jossa lähes kaikki käyttävät jokapäiväisissä toimissaan jollakin tavalla satelliitti- tai verkkopaikannusmenetelmien apua. Vaikka eri paikannusmenetelmillä päästään jo nyt usein riittäviin tarkkuuksiin, uusia ja nykyisiä menetelmiä kehitetään edelleen varmasti jatkossakin.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. Miettinen Samuli, GPS käsikirja. Genimap Oy, 2002.
2. Poutanen Markku, GPS paikanmäärittäminen. Ursa. Karisto Oy, Hämeenlinna 1998.
3. Penttinen Jyrki, Tietoliikennetekniikka Perusverkot ja GSM. WSOY, 2006.
4. Arokoski – Jääskeläinen – Kontio – Köykkä – Raatikainen – Tervo - Vierimaa, Mobiiliteknologiat. Edita Prima Oy, Helsinki 2002.

Sähköiset lähteet

5. United States Naval Observatory, 1996. [online] [viitattu 16.3.2009]
saatavissa: <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb1.txt>
6. GPS-explained. [www-sivu] [viitattu 19.3.2009]
saatavissa: http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm
7. GPS practice and fun. [www-sivu] [viitattu 25.3.2009]
saatavissa: <http://www.gps-practice-and-fun.com/gps-receivers.html>
8. Langley, Richard B 1991. The Mathematics of GPS [online] [viitattu 22.4.2009]
saatavissa:
<http://gauss.gge.unb.ca/gpsworld/EarlyInnovationColumns/Innov.1991.07-08.pdf>
9. Kowoma.de. GPS-explained [www-sivu] [viitattu 21.4.2009]
saatavissa: <http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm>
10. Rainio, Antti 2003. Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Tekes. [online] [viitattu 22.4.2009]
saatavissa: http://www.tekes.fi/julkaisut/paikannus_mobiilipalveluissa.pdf
11. Paikannus.com. [www-sivu] [viitattu 13.4.2009] saatavissa:
<http://www.paikannus.com/matkapuhelinverkkoon-perustuva-paikannus>
12. TruTeq wireless. [www-sivu] [viitattu 15.4.2009] saatavissa:
<http://www.truteq.com/tips/>
13. RTK-tukiasemaopas [online] [viitattu 21.4.2009] saatavissa:
http://www.sci.utu.fi/maantiede/laitos/tilat_laitteet/laitekuvaukset/RTK_tukiase_ma_opas.pdf
14. Häätäkeskuslaitos. [www-sivu] [viitattu 21.4.2009] saatavissa:
<http://www.hatakeskus.fi/index.php?pageName=matkapuhelinpaikannus>

Kuvalähteet

15. Physics at Syracuse. [online] [viitattu 16.4.2009] saatavissa:
<http://physics.syr.edu/courses/PHY312.03Spring/GPS/Image10.gif>
16. PPCSG [www-sivu] [viitattu 2.4.2009] saatavissa:
<http://www.ppcsg.com/mobile/index.php/t88128.html>
17. GPS-explained [www-sivu] [viitattu 9.4.2009] saatavissa:
http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm
18. Tietoasema.fi [www-sivu] [viitattu 9.4.2009] saatavissa:
<http://www.tietoasema.fi/eshop/?sid=1&pcode=RBT-1100>
19. University of Colorado at Boulder. [online] [viitattu 21.4.2009] saatavissa:
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/control.gif>
20. Berkeley Seismological Lab. [online] [viitattu 21.4.2009] saatavissa:
<http://seismo.berkeley.edu/~battag/GAMITwrkshp/lecturenotes/unit1/Image2.gif>
21. Enviromental Studies. [www-sivu] [viitattu 21.4.2009] saatavissa:
http://www.environmental-studies.de/Precision_Farming/EGNOS_WAAS__E/3E.html
22. TruTeq wireless. [www-sivu] [viitattu 15.4.2009] saatavissa:
<http://www.truteq.com/tips/>
23. Wikipedia. [www-sivu] [viitattu 12.4.2009] saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Base_Transceiver_Station
24. Virtuaali AMK, GPS ja muut paikannusjärjestelmät. [online] [viitattu 15.4.2009] saatavissa:
<http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/gsm3.html>
25. Garmin. [www-sivu] [viitattu 20.4.2009] saatavissa:
http://www.garmin.fi/product_info.php?cPath=99&products_id=809
26. Coordinates. [online] [viitattu 20.4.2009] saatavissa: <http://www.mycoordinates.org/feb09/img/24.jpg>