

Satelliittipaikannuksen kehitysnäkymiä

Risto Kuittinen
Geodeettinen laitos
Geodeetinrinne 2, 02430 Masala
risto.kuittinen@fgi.fi

Tiivistelmä. Maailma on siirtymässä tulevien viiden vuoden aikana tilanteeseen, jossa on tarjolla kolme globaalia paikannusjärjestelmää: GPS, GLONASS ja Galileo. Samanaikaisesti tietoliikennetekniikan ja mikroprosessorien kehitys mahdollistaa entistä tehokkaamman tosiaikaisen paikannukseen tarvittavan tiedon käsittelyn. Tämä mahdollistaa nykyistä monipuolisemmat paikannusmenetelmät, mikä puolestaan lisää paikannussovellutuksia. Hyvin oleellinen tässä kehityksessä on Internet, koska sen avulla voidaan jakaa nopeasti järjestelmätietoa paikannuksen tarpeisiin. On nähtävissä, että kehitys kulkee kohti tilannetta, jossa saumaton paikannus ulko- ja sisätiloissa on mahdollista.

Avainsanat: satelliittipaikannus, GNSS, GPS

1 Taustaa

Paikantamisen kyky ja taito ovat olleet ja ovat edelleen ihmiskunnan elämisen perusedellytys. Ympäristön tunteminen, aurinko ja tähtitaivas olivat aluksi paikannuksen peruselementtejä, mutta radiotekniikan kehityksen myötä ihmiskunnan käyttöön on saatu yksinomaan tekniikkaan perustuvia tarkkoja paikannusmenetelmiä. Nopean, tarkan ja kaikkialla maapallolla saatavissa olevan paikannuksen mahdollisuudet tulivat ilmeisiksi, kun voitiin luotettavasti lähettää satelliitteja maata kiertäville radoille. Näin syntyi jo 1960-luvulla ajatus satelliittipaikannuksesta. Ensimmäisen tällaisen järjestelmän rakensi USA lähinnä 1980 - luvulla ja toisen noin kymmentä vuotta myöhemmin Neuvostoliitto. Parhaillaan ollaan rakentamassa kahta uutta satelliittipaikannuksen järjestelmää, Euroopassa Galileoa ja Japanissa QZSS. Näiden valmistumiseen kuluu vielä noin viisi vuotta. Tässä kirjoituksessa tarkastellaan niitä mahdollisuuksia, joita satelliittipaikannus nyt ja tulevaisuudessa tarjoaa. GPS-järjestelmällä voidaan näitä mahdollisuuksia tutkija ja demonstroida.

Satelliittipaikannuksen perusta on geodeettisissa mittaus- ja laskentamenetelmissä, mutta nyt kehitystä vie eteenpäin ensisijassa tietoliikennetekniikan ja mikroprosessorien kehitys. Jotta voidaan ymmärtää paikannusjärjestelmien teknistä kehitystä ja hyödyntämismahdollisuuksia, on aluksi tarkasteltava sitä, mistä osista tällainen yleensä maailmanlaajuinen järjestelmä muodostuu. Järjestelmän osat ovat:

- Satelliitit, joita toimintakuntoisessa järjestelmässä on noin 24 kpl.

- Maanpinnalla olevien ohjaus- ja tukiasemien sekä ratojen laskentaan käytettävien havaintoasemien verkko, noin 70 asemaa paikannusjärjestelmää kohti.
- Maanpinnalla oleva asemaverkko, jonka avulla jaetaan käyttäjille mittauksessa ja paikannuksessa tarvittavaa järjestelmää koskevaa tietoa.
- Vastaanottimet, joiden avulla varsinainen paikanmääritys tehdään, sekä
- koordinaattijärjestelmä, jossa toimitaan.

Järjestelmän oleellisia teknisiä ominaisuuksia ovat:

- käytettävien radiosignaalien lukumäärä ja taajuudet,
- signaalien koodausmenetelmät,
- ajanmäärityksen tarkkuus,
- vastaanottimien koko, laskentakapasiteetti ja ohjelmitavuus,
- satelliittien ratatasot, niiden sijainti ja lukumäärä.

Lähes kaikilla näillä järjestelmän osa-alueilla tapahtuu tulevaisuudessa kehitystä.

2 Paikannussatelliittijärjestelmät ja niiden tekniset ominaisuudet

Paikannussatelliittijärjestelmät ovat käytössä USA:ssa ja Venäjällä. Euroopan Unioni ja Japani rakentavat omaa järjestelmäänsä. Ilmeisesti Kiina ja Intia suunnittelevat omaa järjestelmäänsä. Olemassa olevien ja rakenteilla olevien paikannusjärjestelmien teknisiä ominaisuuksia esitetään seuraavassa taulukossa.

Taulukko1. Satelliittipaikannusjärjestelmien ominaisuuksia.

	GPS	GLONASS	GALILEO	QZSS
Satelliittien lukumäärä	21 + 3	21 + 3	27 + 3	3
Ratatasoja	6	3	3	3
Satelliitin elinikä	10 y	3 – 10 y	12 y	12 y
Käyttötapa	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Taajuuksien lukumäärä	3 L1, L2, L5 nyt L1 ja L2	1/2satelliittia	4 L1, E6, E5a =L5, E5b	4 L1, L2, E6, E5a=L5
Koodien lukumäärä	1/satelliitti/ palvelu	1/taajuus/ palvelu	1/satelliitti/ palvelu	1/satelliitti/ palvelu
Ratakorkeus	20200 km	19100 km	23200 km	36000 km
Radan inkliinaatio	55	64,8	56	45
Sotilas- ja siviilikäyttö: D Vain siviilikäyttö: S	D	D	C (public regulated service)	C
Järjestelmän valmistuminen	Valmis	2010	2011	
Atomikellotyyppi	rubidium (cesium)	cesium	vetymaser	
Käytetty aika Time Reference Frame	UTC/GPS time	?	UTC/GST	
Koordinaattijärjestelmä Coordinate Reference Frame	ITRF/WGS84	ITRF/?	ITRF/GTRF	
Maa-asemaverkko	WAAS	tekeillä	EGNOS	?

UTC = Universal Time Coordinated
GST = Galileo System Time
ITRF = International Terrestrial Reference Frame
GTRF = Galileo Terrestrial Reference Frame
EGNOS = European Geostationary Navigation Overlay Service
WAAS = Wide Area Augmentation System
CDMA = Code Division Multiple Access
FDMA = Frequency Division Multiple Access
QZSS = Quasi-Zenith Satellite System

Satelliittien nykyistä pidempi elinikä vähentää järjestelmien rakentamis- ja käyttökustannuksia. Koodausmenetelmien kehittäminen parantaa signaalien laatua ja tunnistettavuutta ja näin myös järjestelmän käytettävyyttä. Taajuuksien lisääntyvä määrä parantaa paikannustarkkuutta ja mahdollistaa järjestelmien monipuolisemman käytön, erityisesti järjestelmien yhteiskäytön. Tätä tukee myös se, että järjestelmien koordinaattijärjestelmät ovat hyvin lähellä toisiaan ja ITRF:a. Ajanmäärittelyn tarkkuuden lisääntyminen parantaa luonnollisesti paikannuksen tarkkuutta.

Kaikkien näiden teknisten ominaisuuksien kehittämisen taustalla on tarve saavuttaa nykyistä luotettavampi ja tarkempi paikannus sekä satelliittijärjestelmien yhteiskäyttöisyys, mutta myös sotilaallisen käytön varmistus kaikissa olosuhteissa. Samalla ne asettavat suuria vaatimuksia käytettävälle tietoliikennetekniikalle, mikropiirien laskentakapasiteetille ja näin ollen myös vastaanottimien valmistajille. Tämä kaikki ei näy tavalliselle vastaanottimen käyttäjälle, mutta on keskeistä satelliittipaikannuksen uusia käyttötapoja kehitettäessä.

3 Minkälaisia teknisiä ratkaisuja on paikannusmenetelmien kehittämiseksi

Satelliittipaikannus perustuu siihen, että vähintään neljä satelliittia on näkyvissä mitattavassa paikassa, mutta esimerkiksi lentoliikenne edellyttää kuuden satelliitin yhtäaikaista näkymistä. Lisäksi on todettava se tosiasia, että paikannuksen tarkkuus lisääntyy mittausajan lisääntyessä ja havaittavien satelliittien määrän kasvaessa. Kun puhutaan paikannuksen käytettävyydestä, tärkeätä on se, kuinka tarkkaa paikannusta tarvitaan, kuinka nopeasti sitä tarvitaan ja kuinka luotettavaa se on.

Oleellisin satelliittipaikannuksen ongelma on se, että satelliittien lähettämät signaalit eivät ole saatavilla. Näin tapahtuu muun muassa suurilla leveysasteilla, tiheissä metsissä, kaupungeissa, vuoristossa ja sisätiloissa. Näitä kysymyksiä pyritään ratkaisemaan seuraavanlaisilla uusilla menetelmillä: 1) vastaanottimia kehittämällä siten, että niillä kyetään havaitsemaan useita järjestelmiä samanaikaisesti tai havaitsemaan hyvin heikkoja signaaleja, 2) täydentämällä paikannuksessa tarvittavan oheistiedon jakelua silloin, kun tätä tietoa ei voida saada suoraan satelliittien kautta, 3) täydentämällä paikannusmenetelmiä silloin, kun satelliittien avulla paikannusta ei voida tehdä, 4) kehittämällä laskentamenetelmiä ja ohjelmointia, jotta reaaliaikainen prosessointi saadaan tehdyksi kämmentietokoneilla tai käsipuhelimilla. Monissa näissä uusissa sovellutuksissa on tärkeänä osana Internet, joko langattomana tai langallisena. Seuraavassa esimerkkejä tutkituista ja kehitteillä olevista paikannusratkaisuista.

Internetin käyttö paikannuksessa tarvittavan oheistiedon jakamiseen: VDGPS

GNSS-järjestelmät jakavat geostationaaristen satelliittien avulla tietoja mm signaalien luotettavuudesta, satelliittien radoista, kellon tarkkuudesta ja ionosfäärin signaalin kulkuun aiheuttaman virheen korjauskertoimista. Tällaisia ovat muun muassa WAAS- ja EGNOS-

järjestelmät. Internetin käyttäminen geostationääristen satelliittien lähettämien signaalien jakelun on nykyään mahdollista. Näin saadaan paikannustarkkuus parantumaan silloin, kun geostationääriset satelliitit eivät ole näkyvissä. Sovellutus edellyttää kuitenkin nopeaa ja tehokasta laskentaa GNSS-vastaanottimeen liitetyssä tietokoneessa tai puhelimesta.

Internetin käyttöön perustuva RTK

Kiinteä Internet-yhteyksin ja reaaliaikaisella prosessointikyvyllä varustettu pysyvä tukiasemaverkko tai virtuaalinen verkko voivat toimia mainiosti RTK-mittausten tukena. Tällöin kerätään, prosessoidaan ja lähetetään tosiaikaisesti tukiasemilta kerätty mittaustieto mittaajan kojeeseen. Tämä ratkaisu edellyttää langatonta Internet yhteyttä paikannusta tekevään laitteeseen.

Pseudoliittien käyttö

Kiinteästi asennettujen lähettimien, pseudoliittien, avulla voidaan täydentää GNSS-järjestelmää silloin, kun on ilmeistä, että paikannussatelliitteja ei saada riittävästi tai ollenkaan näkymään paikannustehtäviin. Pseudoliitit voivat jakaa paikallisesti sekä EGNOS-että WAAS-järjestelmän lähettämää signaalia että GNSS-satelliittien lähettämiä signaaleja, mutta toimia myös paikannuksessa korvaamassa satelliitit. Näin mahdollistuu paikannus alueilla, joihin ei saada riittävästi suoria havaintoja GNSS-järjestelmien satelliitteihin.

Useamman GNSS-järjestelmän yhteiskäyttö

Eräänä tavoitteena GNSS-järjestelmiä rakennettaessa on niiden yhteiskäyttöisyys, koska tämä lisää erityisesti paikannusmenetelmien luotettavuutta. Useamman järjestelmän yhteiskäyttö merkitsee sitä, että lähetettävät järjestelmätiedot tulee saada keskitetysti käyttäjille ja käyttäjillä tulee olla vastaanottimet, jotka mahdollistavat havainnot eri järjestelmien satelliitteihin. Tämä merkitsee sitä, että vastaanottimen tulee kyetä prosessoimaan eri järjestelmien lähettämiä signaaleja ja tuottamaan näihin havaintoihin perustuvan paikannustiedon. Tällaisia vastaanottimia on olemassa ja niitä ollaan edelleen kehittämässä. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että 2010-luvulla tulee kyetä prosessoimaan lähinnä GPDS- ja Galileo järjestelmien tuottamaa tietoa. GLONASS- järjestelmän tekninen poikkeavuus (lähinnä FDMA ja käytettävien taajuuksien määrä) kahdesta muusta järjestelmästä aiheuttaa sen, että nämä monikäyttövastaanottimet tulevat olemaan monimutkaisempia ja kalliimpia kuin GPS:ää ja Galileo:a käyttävät vastaanottimet.

Vastaanottimien kehittäminen

Eräs tapa parantaa paikannuksen mahdollisuuksia on kehittää nykyistä herkempiä vastaanottimia. Näin voidaan havaita heikkojakin signaaleja ja tehdä paikannusta nykyistä paremmin metsässä, kaupungissa ja sisätiloissa. Kehitystyö on meneillään.

Kantoaallon käyttäminen paikannukseen

Kantoaaltoa, sen vaihetta ja koodausta, analysoimalla voidaan päästä huomattavan suureen mittaustarkkuuteen myös tosiaikaisissa paikannussovelluksissa. Tämä ratkaisu kiinnostaa erityisesti liikkuvien kohteiden paikannusmenetelmiä kehitettäessä.

4 Johtopäätöksiä

Tietotekniikan kehitys tulee vaikuttamaan voimakkaasti satelliittipaikannuksen kehittymiseen. Prosessorien suorituskyky kasvaa ja niiden hinta ja energiankulutus verrattuna suorituskykyyn vähenee voimakkaasti. Kun samanaikaisesti vastaanottimien koko pienenee

ja tietoliikennetekniikka kehittyy, on nähtävissä, että satelliittipaikannukselle löytyy uusia teknisiä ratkaisuja ja yhä laajenevaa käyttöä.

Itse satelliittipaikannuksen osalta voidaan todeta seuraavaa.

Eri järjestelmien avaruussegmentit tulevat olemaan hyvin paljon toistensa kaltaisia, eikä niissä tapahdu suuria muutoksia lähimmän kymmenen vuoden aikana. Järjestelmien yhteiskäyttö on mahdollista.

Paikannuksessa tarvittavat geodeettiset ja matemaattiset menetelmät tunnetaan hyvin, mutta näiden menetelmien laskennallinen optimointi ja tehokas koodaaminen tulevat olemaan tärkeitä, kun yhä pienikokoisempia vastaanottimia tullaan käyttämään.

Järjestelmien maasegmentit tulevat kehittymään sekä paikallisesti että alueellisesti. Tämä tulee tarjoamaan nykyistä monipuolisempia ja tarkkuudeltaan parempia palveluja lukuisille käyttäjille.

Useat GNSS-järjestelmät takaavat sen, että nykyistä enemmän satelliitteja on jatkuvasti käytettävissä paikannukseen. Näin paikannuksen tarkkuus ja luotettavuus kasvavat. Tarkkuuden täytyy kuitenkin olla sopusuhteissa käytettävien karttojen tarkkuuden kanssa, jotta mielekkäät sovellutukset ovat mahdollisia.

Geodeettisten mittausten tarkkuus ei oleellisesti kasva, mutta ne helpottuvat. Satelliittipaikannuksen tarkkuus paranee.

Kiitokset

Professori Ruizhi Chen, Geodeettinen laitos

Lähdeluettelo

Inside GNSS 1-6/2006

www.insidegnss.com