

Geodeettinen VLBI Metsähovissa

J. Piironen ja M. Poutanen

Geodeettinen laitos, Geodesian ja Geodynamiikan osasto, PL 15, 02431 Masala
Jukka.Piironen@fgi.fi, Markku.Poutanen@fgi.fi

Abstract

Geodetic VLBI was started in Metsähovi Radio Research Station during the course of 2004. Test measurements showed that the 2/8 GHz receiver and other devices were working properly. To make data recording easier hard disk based recorder Mk5A was provided in March 2005. In future Metsähovi will participate 5-10 sessions annually. Plans have been made also to join the scientific interpretation of the data.

1. JOHDANTO

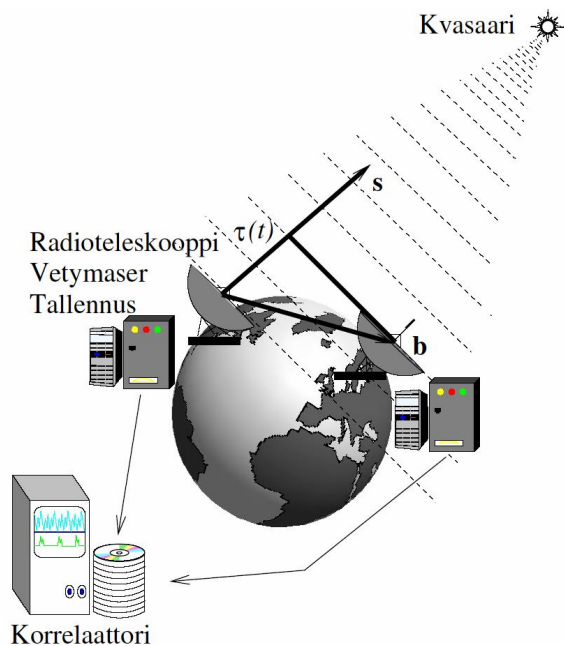
Geodeettinen laitos on aloittanut geodeettiset VLBI-mittaukset Metsähovissa yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun Metsähovin radiotutkimusaseman kanssa. Havainnot tehdään Metsähovin 13.7 m radioteleskoopilla, ja tarkoituksena on osallistua vuosittain 5-10 havaintokampanjaan. Suunnitelmissa on osallistua myös havaintojen tieteelliseen tulkintaan.

2. MITÄ GEODEETTINEN VLBI ON?

Kaikkien tunteman GPS:n ohella geodesiassa on käytössä muutamia muitakin avaruus-geodeettisia mittaamenetelmiä, kuten satelliittilaser ja VLBI. Kullakin näistä on oma tehtävänsä globaalien koordinaatistojen luonnissa ja ylläpidossa, eikä niiden tuottamia havaintoja voi korvata toisilla menetelmillä.

Tarkin ja kaikkein fundamentaalisin globaalisista mittaamenetelmistä on pitkäkantainterferometria, VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Havainnot tehdään suurilla radioteleskoopeilla ja havaintokohteena on kaukaa aurinkokunnan ulkopuolelta tuleva radiotaajuinen säteily. Se on siis täysin riippumaton Maata kiertävistä satelliiteista. Pitkäkantainterferometriaksi kutsutaan menetelmää, jossa radioteleskoopit ovat niin kaukana, ettei niitä voi enää fyysisesti yhdistää toisiinsa. Tällöin havaittavat signaalit taltioidaan magneettinauhoille (nykyisin tietokoneen kovalevyille) yhdessä tarkkojen aikamerkkien kanssa.

VLBI kehitettiin alun perin radiotähtitieteen tarpeisiin parantamaan teleskooppien erotuskykyä, mutta myös geodesiassa VLBI on nykyisin korvaamaton globaalien koordinaatistojen luonnissa ja ylläpidossa sekä Maan asennon ja pyörimisliikkeen seurannassa. Geodeettisessa VLBI-mittauksessa havaintokohteina ovat satojen miljoonien valovuosien päässä olevat kvasaarit, jotka ovat voimakkaita pistemäisiä radiolähteitä. Eri puolilla maapalloa olevilla radioteleskoopeilla havaitaan kvasaareista tulevaa radiosäteilyä.



Kuva 1. Geodeettisen VLBI:n periaate. Kaukai-
sesta kvasaarista tuleva yhdensuuntainen aalto-
rintama saapuu eriaikaisesti kahteen teleskoop-
piin. Teleskooppeihin saapuvan signaalin aika-
eron perusteella voidaan määrittää teleskooppien
välinen vektori **b**, jos havaintoja on tehty useista
eri puolilla taivasta olevista lähteistä. Aalto-
rintama häiriintyy ilmakehän läpi kulkiessaan,
joten signaalien viive täytyy määrittää korre-
loimalla signaalit ja etsimällä korrelaatiofunktion
maksimi. (Poutanen ja Piironen, 2004)

Kun eri teleskoopeista ja useista kymmenistä kvasaareista saadut signaalit prosessoidaan, voidaan teleskooppien välimatkat laskea senttimetrin tarkkuudella.

Optisella alueella (aallonpituus $\lambda \approx 500$ nm) kaukoputkella havaittavien yksityiskohtien erotuskykyä rajoittaa yleensä ilmakehä, jonka turbulenssit vääristävät tulevaa signaalia niin, että hyvissäkään olosuhteissa ei pystytä erottamaan alle kaarisekunnin päässä toisistaan olevia yksityiskohtia. Paljaan silmän erotuskyky on pari kaariminuuttia. Teleskoopin erotuskyky on luokkaa λ / D , missä λ on havaittavan säteilyn aallonpituus ja D teleskoopin läpimitta. Jo varsin pienellä kaukoputkella päästään optisella alueella kaarisekunnin erotuskykyyn, jolloin kaukoputken koon kasvattamisesta ei enää ole vastaavaa hyötyä.

Radioalueella havaittavat aallonpituudet ovat millimetristä metreihin. Ainoa tapa radioteleskoopin erotuskyvyn lisäämiseksi on teleskoopin koon kasvattaminen. Tässä tulee kuitenkin raja vastaan hyvin nopeasti. Suurimmat liikuteltavat radioteleskoopit ovat läpimitaltaan n. 100 m (Green Bank, USA ja Effelsberg, Saksa; Karttunen *et al.*, 2003). Jotta radioalueella saavutettaisiin samanlainen erotuskyky kuin optisella alueella, tarvittaisiin jopa kilometrien läpimittaisia antennia.

Ratkaisuksi kehitettiin jo 1960-luvulla interferometrinen menetelmä, jossa kahdesta antennista tuleva signaali yhdistetään. Maapallon pyörimisen vuoksi antenneihin saapuvien signaalien välille syntyy tasaisesti muuttuva vaihe-ero, ts. radiolähdettä seuraamalla saadaan interferenssikuvio, jonka ominaisuudet riippuvat sekä vastaanottimien keskinäisestä asennosta että radiolähteen ominaisuuksista.

Geodeettisissa VLBI-mittauksissa radiolähteinä käytetään kvasaareita. Koska kvasaarien etäisyys on vähintään satoja miljoonia valovuosia, ne muodostavat eräänlaisen ajasta ja paikasta riippumattoman kiintopisteverkon. Vaikka kvasaarien todelliset nopeudet olisivat hyvinkin suuria, eivät niiden suhteelliset paikat taivaalla muutu ihmismittapuun mukaan mihinkään. Toinen seuraus suuresta etäisyydestä on, että keskinäiset asemat säilyvät

tarkasteltiinpa niitä maapallolta tai Marsista. VLBI-mittaukset ovat siis paikasta riippumattomia.

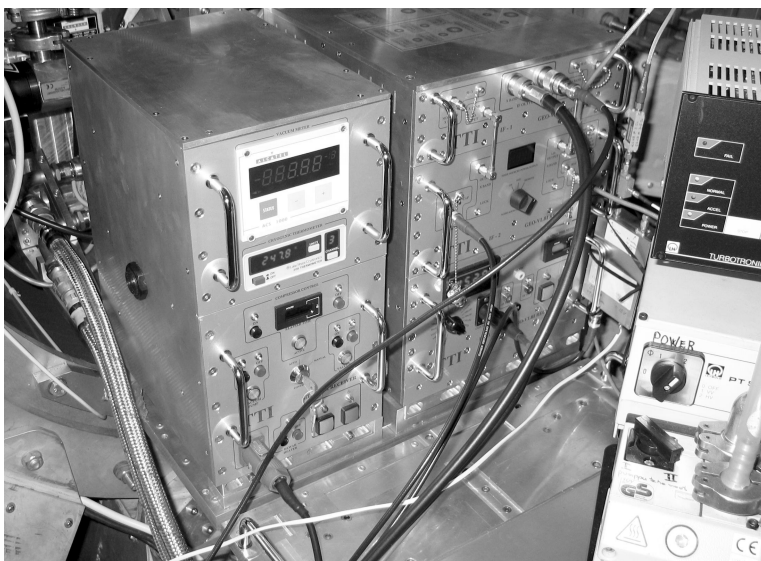
Geodeettisissa mittauksissa VLBI-tekniikkaa käytetään tavallaan käänteisesti tähtitieteellisiin sovelluksiin verrattuna. Havaitsemalla eri puolilla taivasta olevia pistemäisiä kvasaareita, voidaan teleskooppien välinen vektori laskea. Nykyisin geodeettisissa VLBI-havainnoissa käytetään mm. 2 GHz ja 8 GHz taajuuksia (15 cm ja 3.75 cm aallonpituuksia), jolloin pääosa ionosfäärin vaikutuksesta voidaan poistaa kahden taajuuden havainnoissa hieman samaan tapaan kuin GPS-havainnoissakin.

Geodeettiset VLBI-havainnot koordinoidaan Kansainvälisen geodeettisen assosiaation (IAG) geodeettisen VLBI-palvelun kautta (IVS, International VLBI Service for geodesy and astrometry) (IVS, 2004). Vuodesta 2004 lähtien myös Geodeettinen laitos on osallistunut tähän toimintaan.

3. METSÄHOVIN LAITTEISTO

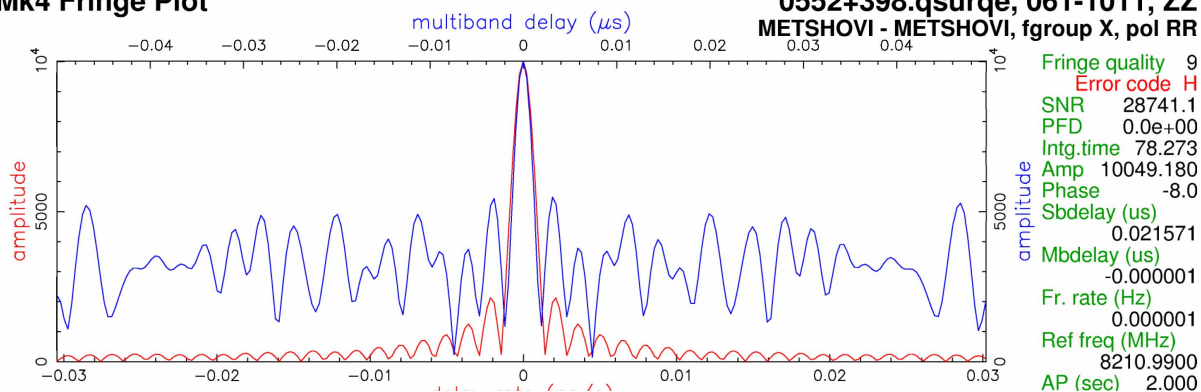
Metsähovin VLBI-havainnot tehdään espanjalaisen TTI-firman tekemällä vastaanottimella. Kyseinen vahvistin on kopio espanjalaisen Yebesin radioteleskoopin vastaavasta. Vahvistin toimii X- (8Mhz) ja S-kaistoilla (2MHz), joka on noin kertaluokkaa pienempi taajuusalue, kuin mitä on yleensä Metsähovissa käytössä. Kaistoilla on useita taajuuksia, joita havaitaan yhtäaikaaisesti. Jotta kohina pysyisi mahdollisimman pienenä, niin vastaanottimen detektori jäädytetään 13 asteeseen absoluuttisen nollapisteen yläpuolelle nestemäisen heliumin avulla.

Ironista kyllä, vastaanotettuun signaaliin sekoitetaan keinotekoista kohinaa kalibroinnin vuoksi. Lisäksi vetymaser-kellosta ympätään 5 MHz:in aikasignaali havaintoihin. Sen avulla saadaan vaadittava aikatarkkuus havaintoihin. Tämän jälkeen kokonaissignaali viedään kaapeleilla amerikkalaiseen Field System -moduuleihin, jossa signaalista muokataan nauhoitettavaksi kelpaavaa dataa. Data tallennetaan Mark5A kiintolevytallentimella, jonka kapasiteetti on yhden teratavun luokkaa.



Kuva 2. Heliumjäädytteen geovlbi-vastaanottimen etupaneeli. (Kuva Markku Poutanen.)

Mk4 Fringe Plot



Kuva 3. Metsähovin VLBI-havaintojen testikorreloinnissa löydettyjä interferenssirenkaita.

Vastaanotin nostetaan paria päivää aiemmin Metsähovin 13.7 metrisen radioteleskoopin fokukseen. Nostaminen ei ole ihan ongelmaton, koska vastaanotin painaa yhteensä yli sata kilogrammaa. Sen vuoksi se on TKK:n henkilöstön toimesta paloitetu kahteen osaan, jotka liitetään taas yhteen noston jälkeen.

Havainto-ohjelma on valmiiksi ohjelmoitu, joten mittausten aikana paikan päällä on ainoastaan yksi henkilö valvomassa, että laitteet toimivat moitteettomasti ja tallennus ongelmitta. Ohjelman aikana radioteleskooppi havaitsee noin muutamaa kymmentä kvasaaria useaan kertaan päivässä. Muut ohjelmaan osallistuvat radioteleskoopit havaitsevat samoja kohteita (kvasaareja) samaan aikaan. Usein jopa yli kymmenen radioteleskooppia on yhtä aikaa ohjelmassa mukana.

Havaintoasemat lähettävät datat korreloitavaksi tutkimusasemille, joilla on siihen tarvittava laitteisto. Korreloinnissa eri asemien havainnot yhdistetään ja niistä erotetaan interferenssit. Interferenssien kohdasta voidaan päätellä kuinka paljon havainnot samasta kohteesta eroavat ajallisesti. Virhelähteet otetaan huomioon ja lopulta pistemäisten kvasaarien havainnoista pystytään laskemaan havaintoon liittyvien asemien välimatka 1-2 senttimetrin tarkkuudella. Kun havaintoja suoritetaan useita kertoja vuodessa usean vuoden ajan, niin niistä pystytään näkemään mm. mannterren liikunta toisiinsa nähden ja maapallon asennossa, kuten navan paikassa ja pyörimisnopeudessa tapahtuvat muutokset. Metsähovissa osallistutaan noin 5-10 ohjelmaan vuodessa.

LÄHTEET

IVS (2004): International VLBI Service for geodesy and astrometry, verkkosivut, <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/>

Karttunen H., K.-J. Donner, P. Kröger, H. Oja, M. Poutanen (2003): *Tähtitieteen perusteet*. 4. laitos. Ursa, Helsinki.

Poutanen M., Piironen J. (2004): Metsähovin geodeettiset VLBI-mittaukset. *Maanmittaus*, N:o 1-2, 2004, 71-84.