

Tulevaisuuden optiset satelliitit

Teemu Tares

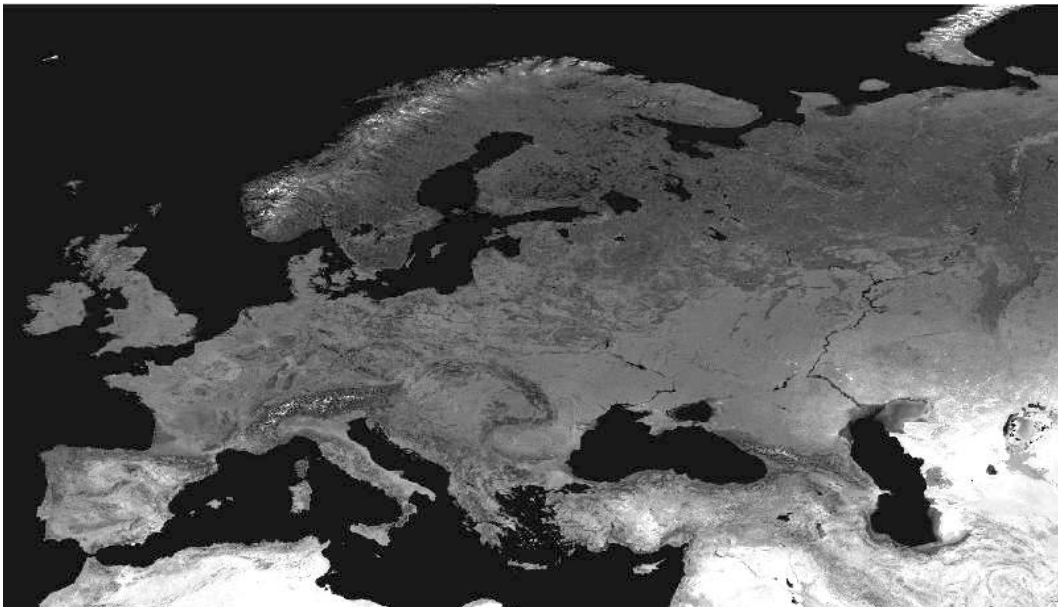
Envia Oy, Espoo
<http://www.envia.fi>
ttares@envia.fi

Tiivistelmä. Satelliittikuvaus on tärkeä osa kaukokartoitukseen perustuvaa ympäristön havainnointia, tiedon keruuta, seuranta ja niihin liittyvää päätöksentekoa. Parhaan kuvanlaadun antavat optiset satelliitit, joiden käyttö onkin yleistynyt.

Avainsanat: optinen kaukokartoitus, satelliittikuva.

1 Maailmanlaajuista havainnointia tilauksesta

Satelliitit ovat ensi kertaa ihmiskunnan historiassa tehneet mahdolliseksi koko maapalloa koskevien ilmiöiden havainnoinnin. Laajoja havaintoja on siis voitu tehdä vasta hieman yli kolmen vuosikymmenen ajan, mutta kuin tilauksesta niillä on ollut yhäti kasvava ympäristönsuojelullinen merkitys.



Kuva 1. MODIS-satelliittikuva kesä–syyskuulta 2001, resoluutio 1km.
Värikuva: <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/BlueMarble/>

Esimerkiksi EU:n “Global Monitoring for Environment and Security” eli GMES-ohjelmassa etsitään ympäristönsuojelun ja kriisienhallinnan tehostamiseksi vastausta muun muassa seuraaviin kysymyksiin (WEU, 2002): Kuinka nopea ja voimakas maailmanlaajuinen ilmastonmuutos on? Millä nopeudella maapallon napa- ja vuoristojäätiköt sulavat? Kuinka suuri on aukko ilmakehän otsonikerroksessa? Onko voimakkaiden sateiden jälkeen odotettavissa paikallisia tulvia? Noudatetaanko ympäristönsuojelusopimuksia? Onko odotettavissa nälänhätää esimerkiksi huonon metsätalouden tai sotien seurauksena?

Ympäristönsuojelun lisäksi optisen alueen satelliitit tukevat monia yhteiskunnallisia toimintoja – sotilaallisista ja kaupallisista sovelluksista puhumattakaan – meteorologian, kasvi- ja eläintieteen, maatalouden, maantieteiden, meren ja vesistöjen tutkimuksen, maankäytön, kartoituksen ja yhteiskunnan suunnittelun eri osa-alueilla.

2 Satelliitti- ja ilmakuvien eroja

Ilmakuvaus on yleisin menetelmä hankkia tietoa maasta, kun kuvattava alue ei ole kovin iso, eikä kuvausta ole tarkoitus toistaa montaa kertaa suurella tarkkuudella tai nopeasti, ja kun alueella on mahdollista lennellä ilman vaaraa. Nopeat satelliittihavainnot ovat mahdollisia myös muissa oloissa, mistä syystä ilma- ja satelliittikuvaus täydentävät toisiaan.

Satelliittikuvien hyviä puolia ovat (JAXA, 2003) ¹laaja-alaisuus, sillä satelliiteilla voi kerätä tietoa tehokkaasti ja edullisesti, ²nopeus, sillä suunnattavat sensorit mahdollistavat kiireellisen monitoroinnin, ³toistettavuus, sillä satelliittihavainnot voidaan toistaa tarkasti samasta kuvausgeometriasta ja samaan kellonaikaan, ⁴helppous, sillä lentosuunnittelu ja tuotanto eivät rasita asiakasta ja ⁵turvallisuus, sillä satelliitti lentää ilman miehistöä ja mahdollisen häirinnän ulottumattomissa.

Optisen alueen satelliittikuvat ovat parhaimmillaan hyvälaatuisia ja tarkkoja, mutta näkyvyys maanpinnalle estyy esimerkiksi Suomen alueella pilvien vuoksi useammin kuin ilmakuvauksissa. Toisaalta yksi onnistunut kuva kattaa kerralla laajan alueen ilman perspektiivivirheitä. Satelliitti kuvaa hyvin kapealla keilalla satojen kilometrien etäisyydeltä, jolloin kuvan eri laidoilla sijaitsevat kohteet näkyvät miltei samassa kulmassa.

Päinvastoin kuin lentokoneella, satelliitin lentoaikataulu ei salli kuvaamista mielivaltaiseen kellonaikaan, vaan aurinkosynkroniselta radalta saadaan kuvia vain keskipäivän tuntumasta ja mahdollisesti toisen kerran 12 tuntia myöhemmin. Koska keskipäivällä varjot ovat lyhimmillään, on kaukokartoitussatelliitin rata asetettu näin.

Sama alue voidaan erällä satelliiteilla kattaa toistuvasti jopa päivittäin. Tällöin voidaan siitä uusimmilla satelliiteilla ottaa useita kuvia nopeassa tahdissa kuvasarjojen tai stereokuvien tuottamiseksi aina kun satelliitti kulkee kohteen ohi.

3 Optiset kaukokartoitussatelliitit

Lähitulevaisuuden optisia satelliittijärjestelmiä ovat mm. SPOT-5 (Ranska), LANDSAT 7 ETM+ ja LDCM (USA), IRS P5-P6 ja OCEANSAT ja CLIMATSAT ja ATMOS (Intia), KVR ja DK1 (Venäjä), IKONOS 2-4 ja Quickbird 2-4 ja OrbView 2-3 (USA), EROS A1-B1-2 (Israel), Aqua (ent. EOS-PM) MODIS ja TERRA ASTER ja ICESat (USA), ADEOS-II (Midori-II) ja ALOS (Japani), ENVISAT ja Meteosat ja MSG (ESA), TRMM VIRS ja NOAA-K ja NMP/EO-1 ja ESSP/CALIPSO (USA), Helios II ja Pleiades (Ranska), Cosmo Skymed (Italia), AVHRR/3 ja MODIS ja MISR ja HIRS (USA), IRS (Intia). Seuraavassa taulukossa esitellään lyhyesti eräitä näistä. Täydellisemmät ja ajantasaisemmat listaukset löytyvät oheisista verkko-osoitteista.

Taulukko 1. Laukaistavaksi suunniteltuja Maan kaukokartoitussatelliitteja.

Satelliitti	Maa	Laukaisu	Sensori	Tyyppi	Kanavia	Erotuskyky (m)
QuickBird 3, 4	USA	2003-4	QuickBird	Pan + multi	1+4	0.25-2.8
IKONOS 3, 4	USA	>2003	IKONOS	Pan + multi	1+4	0.5-4
Pleiades-HR	Ranska	2005-6	Pleiades-HR	Pan + multi	1+4	0.7-2.8
OrbView-3, -4	USA	2003	OrbView	Multispectral	4	4
				Panchromatic	2	1-2
ADEOS-II	Japani	2002	GLI	Multispectral	36	250-1000
IRS-P5 (Cartosat)	Intia/USA	2003-04	Pan	Panchromatic	1	2.5
Resource21	Venäjä	>2003	Multispectral	Multispectral	5	10, 20
			Cirrus	Multispectral	1	100+
NEMO (HRST)	USA	>2003	AVIRIS	Hyperspectral	210	30
			PIC	Panchromatic	1	5
IRS-P6	Intia/USA	2003	LISS IV	Multispectral	7	6, 23.5
			AWiFS	Multispectral	3	80
ARIES	Australia	2002	ARIES-1	Panchromatic	1	30
				Hyperspectral	96	10
CBERS-2	Kiina/Brasilia	>2003	CCD	Multispectral	5	20
			IRMSS	Multispectral	3	80
					1	160
			WFI	Multispectral	2	260
EROS-B1	Israel	2003	Panchromatic	Panchromatic	1	0.82
NOAA-N	USA	2003	AVHRR	Multispectral	5	1100
ALOS	Japani	2003	VSAR	Radar	1	10
			AVNIR-2	Multispectral	4	10
				Panchromatic	1	2.5

Lähde: <http://www.ersc.wisc.edu/resources/EOSF.html>

<http://www.itc.nl/~bakker/launch-table.html>

<http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-00b2/ceos1/instrum/mission1.htm>

http://eosps0.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/mission_profiles/docs/mission.pdf

http://www.space.hut.fi/misc/Future_Earth_Observation_Satellites.html

3.1 Korkean erotuskyvyn satelliitit

Yhdysvaltalainen DigitalGlobe-yritys sai tiistaina 30.9.2003 Pentagonin tuen seuraavan sukupolven QuickBird-satelliittien toteuttamiseksi, kun NIMA (National Imagery and Mapping Agency) myönsi sitä varten 5-vuotisen sopimuksen. Uusi QB-satelliitti on suunniteltu laukaistavaksi mahdollisesti jo ensivuoden lopulla ja toinen 2005–6. Todellisuudessa aikataulu saattaa kuitenkin venyä jonkin verran. DigitalGlobe hallinnoi jo tällä hetkellä tarkinta kaupallista satelliittia, jonka erotuskyky on 61cm. Uusien satelliittien erotuskykyä voi lisenssin mukaan jatkossa parantaa jopa 25cm:iin.

Tällä hetkellä ei ole saatavilla tarkempia tietoja näistä satelliiteista, mutta huhutaan (Oddone, 2003), että kolmannen QuickBird-satelliitin – jota kutsuttakoon vaikka QB-3:ksi – laitteiston monikanavaominaisuuksia parannetaan entisestään lisäämällä siihen toinen infrapunakanava sekä veteen hyvin tunkeutuva, ilmeisesti sinivihreän valon kanava. QB-3 suunnitellaan niin, että sillä voidaan huomattavasti joustavammin kuvata useita eri kohteita, kuin tämänhetkisellä QuickBird-2-satelliitilla. QB-4:n erotuskykyä parannetaan niin, että päästään 25 cm:n tasolle.

Space Imaging on puolestaan jo aikaisemmin saanut Yhdysvaltain hallitukselta lisenssin erotuskyvyltään puolen metrin satelliittikuvien tuottamiseksi ja on todennäköistä, että myös he saavat piakkoin uuden sopimuksen IKONOS-satelliiteille. Myös OrbImage:lla on oletettavasti samansuuntaisia pyrkimyksiä jo taivaalla olevien OrbView-1-3-satelliittien jälkeen. OrbView-3-satelliitti on erotuskyvyltään vertailukelpoinen IKONOS 2:n kanssa (1m pan ja 4m multi).

ImageSat puolestaan on ilmoittanut lähettävänsä taivaalle toisen EROS-satelliitin vuonna 2004 ja suunnittelevansa kolmatta. EROS B1 tulee kuvaamaan edeltäjänsä paremmalla resoluutiolla (<1m) ja huomattavasti suuremmalla tiedonsiirtonopeudella. Kuten IKONOS- ja QuickBird-satelliiteilla, voidaan kiinnostava alue kuvata samalta ratakerrokselta useaan kertaan esimerkiksi stereokuvia varten, sekä mustavalkoisena että värillisenä.

Ranskalaisen Spot Image:n lähitulevaisuuden satelliitti on nimeltään Pleiades, ja myös siinä on optisia korkean erotuskyvyn eli VHR-sensoreita (Very High-Resolution). Intialaisten IRS-P6-satelliitin laukaisu tapahtunee lähipäivinä. Edeltäjiinsä IRS-1C- ja 1D-satelliitteihin verrattuna sen kanavalukumäärää on lisätty, kun taas ensivuonna laukaistavalla IRS-P5 CARTOSAT-satelliitilla voidaan ottaa pankromaattisia kuvia 2.5 metrin erotuskyvyllä ja 30 kilometrin kuvavevyydellä.

4 Ratkaistavia ongelmia

4.1 Yleinen inversioprobleemi

Maa-ilmakuvausten havaintojen tekoon satelliittikaukokartoitus on ainoa menetelmä. Valitettavasti satelliitista ei yleensä voida mitata haluttua suuretta suoraan, vaan kyseessä on epäsuora mittaustapa: arvioitaessa esimerkiksi metsän puumäärää, mitataan sateilyn spektriä. Siksi on tiedettävä, kuinka sateilyn spektri riippuu puumäärästä. Tätä varten laaditaan kokeellinen tai teoreettinen malli. Kun mallista ratkaistaan puumäärä, niin saadaan käänteinen eli inversiomalli. Valitettavasti puumäärä ei ole ainut mittaustulokseen vaikuttava tekijä. Sen vuoksi ei harvojen satelliittihavaintojen perusteella aina pystytä tekemään hyvää arviota. Tämä ongelma koskee kaikkia kaukokartoituskuvia, kun kyseessä on epäsuora mittaustapa.

4.2 Optisen kuvauksen rajoituksia

Luonnollisestikaan ei passiivisilla, optisilla satelliiteilla voida ottaa normaaleja värikuvia yöllä – päinvastoin kuin tutkasatelliiteilla ja ladarilla – kuin ehkä kaupunkien ja katujen

valaistuksesta. Yökuvauksessa voidaan sen sijaan käyttää infrapunakanavaa, joka rekisteröi havainnoitavien kohteiden pintalämpötilan niiden emittoiman infrapunasäteilyn välityksellä, mutta pilvisuus ja ilmansaasteet häiritsevät silloinkin.

Kuvattaessa laajempia alueita, on toivottavaa valaistuserojen ja ympäristöolosuhteiden muutosten vuoksi, että kaikki kuvat olisivat mahdollisimman samaan vuorokauden aikaan ja muutenkin ajallisesti lähemmäs otettuja. Kuvien ottaminen satelliitista niin ei aina onnistu, vaan kuvausten väliin jää sekunneista kuukausiin tai jopa vuosiin yltäviä aikaeroja.

Esimerkiksi tämän kirjoituksen alussa oleva ”Moderate Resolution Imaging Spectrometer”- eli MODIS-kuva on tarkin koko maapallon kohtuullisen ajan kuluessa kattaneista värikuvista. Kuvan erotuskyky on kuitenkin vain 1 km ja se on kooste neljän kesäkuukauden satelliittihavainnoista. Toki Landsat-satelliitilla on monien vuosien kuluessa kuvattu maapallosta suurin osa vähintään 30 metrin erotuskyvyllä, mutta esimerkiksi Suomen Valtion Metsien Inventoinnissa on todettu pilvettömän peiton saamisen kestävän yhdellä Landsat-satelliitilla muutaman vuoden. Trooppisella sademetsävyöhykkeellä aika on pidempi.

Koko maapalloa ei teknisesti pystytä kattamaan hyvällä erotuskyvyllä lyhyessä ajassa. Pilvipeitteen vuoksi ei optisella alueella siihen koskaan päästä, vaikka tekniset esteet voitettaisiinkin. Joka tapauksessa tarvitaan enemmän kuin yksi merkittävä läpimurto satelliitti-, ilmaisins- ja tietotekniikassa.

4.3 Kuvien saatavuus ja hinta

Avaruustekniikan korkeita kustannuksia voidaan vähentää tiivistämällä yritysten, eri toimialojen ja valtioiden välistä yhteistyötä. Jopa kilpailevien satelliittiyri-tysten välinen yhteistyö saattaisi tarjota synergiaetuja sekä heille että asiakkaille.

Tällä hetkellä esimerkiksi monenajankohdan kuvien saatavuus ja hinnat eivät vastaa kysyntää, jota kyllä olisi olemassa, mutta kuvia ei saa riittävästi tai ne maksavat liikaa. Kun satelliitteja tulee lisää, niiden yhteiskäyttömahdollisuus nousee esille.

Kuvien saatavuus, toistuvuus, tarkkuus ja hintalaatusuhde on parantunut viimeisen vuosikymmenen aikana paljon. Kehityksen jatkuessa hyödyntäminen yleistyy myös monilla niillä sekä yksityisen että julkisen sektorin toimialoilla, joilla satelliittikuvia ei ehkä aikaisemmin ole käytetty.

Lähdeluettelo

- JAXA (2003). The Japan Aerospace Exploration Agency. http://www.jaxa.jp/index_e.html.
- Axel Oddone (2003). Henkilökohtainen sähköposti. Eurimage S.p.A., Rooma, Italia, 22.9.2003.
- Barbara Opall-Rome (2003). ImageSat Signs Core Customers for Next EROS Satellite. Space News, 14.4.2003. http://www.imagesatintl.com/newsmedia/news/041403_news.shtml.
- WEU (2002). Developing a European space observation capability to meet Europe's security requirements. Document A/1789. The Interparliamentary European Security and Defence Assembly, 5.6.2002.