

Keskiresoluutioisten satelliittikuvien käyttö luonnonvarojen kartoituksessa ja seurannassa

Tuomas Häme

VTT Tietotekniikka
Tuomas.Hame@vtt.fi

Keskiresoluutioisiin satelliittikuviin voidaan laskea kuvat, joiden erotuskyky on niin karkea, että numeerinen tulkinta voidaan perustaa erillisten kuvanalkioiden käsittelyyn toisistaan riippumattomasti. Tarkimmillaan tällaisten kuvien erotuskyky on tuolloin 10 – 15 metriä. Määritelmä ei rajaa karkeinta mahdollista erotuskykyä, mutta esimerkiksi NOAA AVHRR -instrumentin erotuskykyä karkeampia kuvia ei enää liene syytä laskea keskimääräisen erotuskyvyn luokkaan. Tällöin keskiresoluutioisina kuvina voidaan pitää kuvia, joissa kuvanalkion koko maastossa vastaa 15 – 1500 metriä. Kuvan tulkinnan näkökulmasta johdettu määritelmä johtaa siis suureen erotuskyvyn vaihteluväliin.

Vielä muutama vuosi sitten 20 – 30 metrin erotuskyvyn satelliittikuvia pidettiin korkean erotuskyvyn aineistona, mutta Ikonos- ja QuickBird-satelliittien laukaisu on siirtänyt Landsat Thematic Mapper -tyyppiset kuvat 30 metrin erotuskykyineen keskikastiin.

Keskierotuskyvyn instrumentit, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, kuvaavat maastoa symmetrisesti satelliitin lentoradan molemmin puolin. Instrumentin avauskulma on tarkimmissa satelliiteissa pieni, esimerkiksi Landsat 7 -satelliitin Enhanced Thematic Mapper -instrumentissa $\pm 7,5$ astetta. Kuva-ala on tällöin 185 km x 185 km. Näitä kuvia voidaan käsitellä nadiirikuvina esimerkiksi korjattaessa ilmakehän vaikutusta. Spot-satelliitin kuvien ala on vain 60 km x 60 km, (uusimmassa Spot 5-satelliitissa 120 km) ja instrumenttia voidaan suunnata viistokuvaukseen. Landsat 7 -satelliitti kuvaa saman kohdan maapallolla joka 16 päivä, joskin instrumentti vaurioitui pahoin keväällä 2003. Suomessa ja muilla pohjoisilla alueilla kuvat peittävät toisiaan, joten pienehköistä alueista kuvia saadaan pilvitilanteen salliessa keskimäärin 8 päivän välein.

Yhdysvaltain kansallisen valtameri- ja ilmakehähallinnon (NOAA) AVHRR-instrumentin kuva-alan leveys on jopa 2900 kilometriä, mutta kuvan reunoja ei voi käyttää maanpinnan kartoituksissa, koska reunoissa ilmakehä vaikuttaa niin suuresti sävyarvoihin ja koska kuvan erotuskyky reunoilla on huono. Nadiirissa erotuskyky on 1,1 km x 1,1 km. Viidestä NOAA-satelliitista saadaan noin kahdeksan kuvaa päivässä Suomen alueelta.

Euroopan avaruusjärjestön Envisat-satelliitin Meris-instrumentti ja NASAn Modis-instrumentti kuvaavat saman maastonkohdan parin päivän välein. MERIS-instrumentin erotuskyky on parhaimmillaan 300 metriä ja Modis-instrumentin 250 metriä. Kuva-ala on runsaat 2000 km leveä.

Tutkakuvia saadaan tällä hetkellä kolmesta satelliitista, Euroopan avaruusjärjestön ERS 2-satelliitista ja Envisat satelliitin ASAR-instrumentista sekä Radarsat 1-satelliitista. ERS 2-kuvien toistoväli on 35 vuorokautta. ASAR ja Radarsat 1 -instrumentit ovat ohjelmoitavia ja kuvia vastaanotetaan tilauksen mukaan. Radarsat-instrumentilla päästään hyvään toistuvuuteen karkeimmassa kuvausmoodissa, jossa kuva-alan leveys on 500 km.

Käytössä olevien tutkakuvien nimellinen erotuskyky on parhaimmillaan 10 metrin luokkaa, mutta optisiin kuviin verrattava todellinen erotuskyky lienee 50 metrin kertaluokassa. Erotuskyky riippuu kohteen sähköisistä ominaisuuksista jolloin pienetkin kohteet kuten voimalinjapylväät saattavat erottua.

Keskierotuskykyisiä kuvia tuottavat instrumentit ovat siis useimmiten optisen ja lämpöalueen havaintolaitteita. Kuva-aineiston hinta on viime vuosina romahtanut tai kuvat ovat kokonaan ilmaisia (Modis, AVHRR). Monissa instrumenteissa kuvat kattavat suuren maa-alan. Kuvien ominaisuuksista seuraa, että instrumentit sopivat parhaiten seurantasovelluksiin ja laajojen alueiden kartoituksiin.

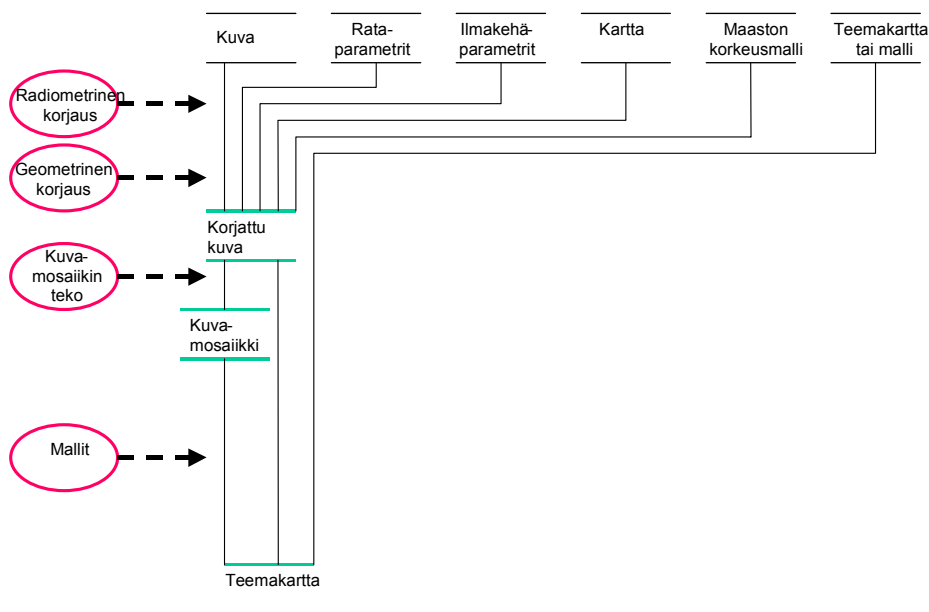
Laajojen alueiden kartoitusta ja jatkuvaa seuranta

Kuvien karkeahkosta maastonerotuskyvystä seuraa, ettei aivan yksityiskohtaista tietoa voida saada. Tulkinta kohdistuu laajahkoihin alueisiin ja on suhteellisen yleispiirteistä. Erotuskykyä vastaavat karttamittakaavat vaihtelevat Landsat-tyyppisen aineiston 1:50 000 – 1:100 000 mittakaavasta AVHRR-aineiston noin 1:4 000 000:aan.

Tulkintaketjun tulee olla sopusoinnussa kuvien tarkkuuden kanssa, joten menetelmien pitäisi olla mahdollisimman nopeita ja automaattisia. Kuvassa 1 on moderni tulkintaketju optisia keskiresoluution kuvia varten. Tutkakuviin voidaan soveltaa samantyyppistä analysointiprosessia.

Ketjun syötteenä on kuvien lisäksi tietoja ilmakehän ominaisuuksista sekä referenssiaineistoa (kuvassa Teemakartta). Mahdollisiin syötetietoihin kuuluvat lisäksi satelliitin rataparametrit, karttakoordinaatit satelliittikuvan ja maastokoordinaatiston vastinpisteistä sekä maaston korkeusmalli. Rataparametreja ja karttapisteitä voidaan käyttää kuvien oikaisuun. Ortokuva-oikaisuun tarvitaan maastomallia, jota voidaan hyödyntää myös alueen osittamisessa korkeuden, kaltevuuden ja ilmansuunnan mukaan itse tulkinnassa. Nykyisin monia keskierotuskyvyn kuvia saadaan valmiiksi ja tarkasti oikaistuna muutamiin karttaprojektioihin, joten käyttäjän tehtäväksi jää korkeintaan projektiomuunnos.

Tuloksena on teemakartta. Kartta voi olla perinteinen esitys, jossa kukin värisävy viittaa tiettyyn teemaan. Tulkinta voi myös keskittyä yhteen teemaan ja tulos esitetään pistehavaintona, kuten metsäpaloista hälyttävässä automaattisessa järjestelmässä. Tulkinnan tulos voi olla myös myöhemmän tulkinnan syötteenä. Iteratiivisessa prosessissa tulkinta tarkentuu.



Kuva 1. Keskiresoluutioisten kuvien tulkintaketju.

Kuvan 1 ketju sisältää kuvien radiometrisen kalibroinnin. Tällä tarkoitetaan optisten kuvien tapauksessa ilmakehän vaikutuksen poistamista sekä heijastuksen normeeraamista tiettyyn auringon korkeuskulmaan. Ilmakehän vaikutus poistetaan menetelmillä, jotka perustuvat ilmakehämalleihin. Malleihin syötetään ilmakehän ominaisuuksista kertovia arvoja, joista tärkein on ilmakehän optinen paksuus kuvanottohetkellä. Malleja soveltavat tietokoneohjelmat muuntavat ilmakehän yläpuolen tasalle lasketut heijastussuhteet maanpinnan heijastussuhteita vastaaviksi.

Useimmat luonnon pinnat heijastavat säteilyä epätasaisesti eri suuntiin ja eri tavalla auringon korkeuskulman mukaan. Jos pinta tunnetaan, voidaan säteilyn heijastus normalisoida esimerkiksi auringon korkeuskulmaan 45 astetta.

Radiometrisesti ja geometrisesti korjatut kuvat pystytään edelleen yhdistämään mosaiikiksi. Esimerkiksi VTT:ssä tehtiin mosaiikki 63 kalibroidusta NOAA-satelliitin AVHRR-instrumentin kuvista. Mosaiikki kattoi koko Euroopan mukaan lukien Euroopan Venäjänpuoleiset alueet. Mosaiikista tehtiin puulaji- ja metsäkarta numeerisen tulkinnan avulla.

Tulkinnan referenssiaineistona voi olla perinteisen maastoaineiston tai teemakartan tilalla valmis spektrinen tulkintamalli. Esimerkiksi Suomen ja Ruotsin alueen Modis-satelliittikuvista tehtiin kalibroitu mosaiikki. Mosaiikkiin sovellettiin puuston runkotilavuutta ennustavaa mallia, joka oli laskettu maastoaineiston ja Landsat-kuvan avulla. Tulokset olivat lieviä aliarvioita, mutta yllättävän lähellä todellisia runkotilavuuksia, sillä Suomen metsien runkotilavuuden aliarvio oli vain 2,3 m³/ha ja Ruotsin 15,6 m³/ha verrattuna molempien maiden valtakunnan metsien inventoinnin tuloksiin. Ruotsin tulosta heikensi mosaiikin osittainen pilvisyys.

Mitä suurempi kuvanalkion koko, sitä hankalampi on luokitella kuva, koska useimpien kuvanalkioiden alue kattaa useita maastoluokkia. Kuvanalkion sijoittaminen yleisimpään maastoluokkaan voi johtaa vakaviin systemaattisiin virheisiin luokkien pinta-aloissa. Jos esimerkiksi luokitettavalla alueella olisi jokaisen neliökilometrin alueella 45 prosenttia metsää ja 55 prosenttia peltoa, ja luokitetaan neliökilometrin aluetta vastaavia kuvanalkioita yleisimpään luokkaan, tulokseksi saadaan 0 prosenttia metsää ja 100 prosenttia peltoa. Todellisuudessa maastoluokat eivät tietenkään jakaudu näin kaavamaisesti, mutta pienialaisten luokkien häviäminen on todellinen uhka luokituksissa.

Karkeahkon erotuskyvyn kuvien tulkintaan on kehitetty menetelmiä, joissa kunkin luokan pinta-alaa kuvanalkion sisällä ennustetaan jatkuvana muuttujana. Yllä olevan esimerkin metsä- ja peltoluokituksessa pellon pinta-ala estimaatti olisi jokaisessa kuvanalkiossa tällöin 55 prosenttia ja metsän 45, jolloin pellon ja metsän kokonaispinta-ala tulisivat oikein. Perinteisin menetelmä jatkuvan muuttujan estimointiin on regressioanalyysi. Uudemmat menetelmät sallivat monimutkaisemman riippuvuuden ennustettavan muuttujan ja spektrimuuttujan välille kuin regressioanalyysi. Esimerkiksi Euroopan metsien kartoitukseen NOAA AVHRR-kuvista kehitettiin uusi menetelmä, joka käyttää kuvan spektristä luokitusta apuvälineenä, mutta lopullinen estimaatti lasketaan jatkuvana muuttujana. Menetelmää on myöhemmin sovellettu myös tarkemman erotuskyvyn kuviin.

Johtopäätökset

Ympäristön seurannan sovelluksissa ja laajahkojen alueiden kartoituksissa keskiresoluutioisten kuvien käyttö lisääntyy. Tulkintaketjut automatisoituvat ja nopeutuvat. Kuvat kalibroidaan rutiininomaisesti, jolloin niihin pystytään soveltamaan aiemmin kehitettyjä tulkintamalleja.

Keskiresoluutioisista kuvista tehdyt laajoja alueita kattavat estimaatit, korkean erotuskyvyn kuvista tehdyt paikalliset estimaatit ja maastomittaukset muodostavat moniportaisen ketjun, jota käytetään luonnonvarojen hallinnassa ja niiden käytön kestävässä suunnittelussa.

Keskiresoluutioisten kuvien tulkintaan liittyviä VTT:n julkaisuja

Schuck, A.; Päivinen, R.; Häme, Tuomas; Van Brusselen, J.; Kennedy, P.; Folving, S.. Compilation of a European forest map from Portugal to the Ural mountains based on earth observation data and forest statistics. - Forest policy and economics., vol. 5 (2003) 2, s. 187 – 202.

Häme, Tuomas; Sirro, Laura; Rauste, Yrjö; Ahola, Heikki; Van Brusselen, J.; Schuck, A.; Wegmuller, U.; Wiesmann, A.; Hippi, I. Treaty enforcement services using earth observation (TESEO) theme carbon – main results . Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS'03, 21 – 25 July, 2003, Toulouse. IEEE (2003), s. 1480 – 1482.

Kelhä, Väinö; Rauste, Yrjö; Häme, Tuomas; Sephton, Tony; Buongiorno, Alessandra; Frauenberger, Olaf; Soini, Kristiina; Venäläinen, Ari; San Miguel-Ayanz, Jesus; Vainio, Taito. Combining AVHRR and ATSR satellite sensor data for operational boreal forest fire detection. International Journal of Remote Sensing., vol. 24 (2003) 8, s. 1691 – 1708.

Sirro, Laura; Häme, Tuomas; Andersson, Kaj. A method for forest stem volume estimation. – ForestSAT 2002 Conference: Operational tools in forestry using remote sensing techniques. Edinburgh, GB, 5 – 9 Aug. 2002. CD-ROM . Forest Research, GB (2002)

Manninen, Terhikki; Stenberg, P.; Voipio, P.; Smolander, H.; Häme, Tuomas. LAI-estimation of boreal forests using C-band VV and HH polarization radar images. – ESA SP-475. 3rd International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications. Sheffield, 11 – 14 Sept. 2001. ESA (2001), s. 359 – 364.

Häme, Tuomas; Stenberg, Pauline; Andersson, Kaj; Rauste, Yrjö; Kennedy, Pamela; Folving, Sten; Sarkeala, Janne. AVHRR-based forest proportion map of the Pan-European area. Remote Sensing of Environment. (2001) 77, s. 76 – 91.