

Maa-57.J
Ulla Pyysalo
ulla.pyysalo@hut.fi
43837 E
2,5 ov

SCALE IN REMOTE SENSING AND GIS

Edited by Quattrochi, Goodchild

Kokoelma artikkelireferaatteja

Luku 1:

Multiscale Nature of Spatial data in Scaling Up Environmental Models

Ling Bian

Artikkelissa tarkastellaan mittakaavan muutoksen vaikutusta aineistoon ja aineistoon käytettävän mallin ulostuloon. 'Scaling up' operaatiolla, eli mittakaavan pienennysoperaatiolla suurimittakaavaisista aineistosta tuotetaan pienimittakaavaisia aineistoja. Koska mittakaavan muutos vaikuttaa ulostuloon se vaikuttaa myös päätöksentekoon, jossa aineistoa käytetään. Muutoksen vaikutus tulisi siten tuntea.

Käsitteelle *scale*, mittakaava, on perinteisesti neljä tulkintaa.

- Kartografinen mittakaava tarkoittaa kahden pisteen välisen etäisyyden suhdelukua kartalla ja maastossa.
- Maantieteellinen mittakaava (*geographic scale*) tarkoittaa tutkittavan alueen maantieteellistä kokoa.
- Kolmas tulkinta sanalle *scale* liittyy resoluutioon, joka tarkoittaa pienimmän aineistosta erotettavissa olevan yksikön kokoa maastossa.
- Operationaalinen mittakaava tarkoittaa mittakaava, jossa tutkittu ilmiö vaikuttaa. Esimerkiksi metsien operationaalinen mittakaava on eri kuin metsässä kasvavien yksittäisten puiden.

Aineistosta tuotetuissa, eri mittakaavaisissa ulostuloissa, kuten kartoissa tai näkymissä, on toisistaan poikkeava sisältö. Uusia asioita voi tulla esiin, kun aineistoa yleistetään. Yleistys on muutakin kuin keskiarvo yleistettävistä tiedoista. Aineistoon käytettävät mallit ovat siten mittavaakariippuvaisia. Mittakaava vaikuttaa voimakkaasti maantieteelliseen riippuvuuteen (*spatial dependence*), eli aineiston yksiköiden korrelaatioon tietyllä etäisyydellä olevien toisten yksiköiden kanssa.

Yleistysmenetelmän vaikutus

Rasteriaineiston yleistysmenetelmiä ovat keskiarvoistus, N:n:n pikselin valitseminen ja moodi-arvojen käyttö (*dominant value*).

Keskiarvoistettaessa aineiston histogrammi tiivistyy, varianssi pienenee ja autokorrelaatio kasvaa. Jos keskiarvoistus toteutetaan liikkuvalla ikkunalla, pikselien määrää ei tarvitse vähentää. Reunat tulevat tällöin käsitteeksi eri tavalla kuin muu aineisto.

N:n:n pikselin valinta muodostaa alkuperäisestä aineistosta osajoukon. Varianssi voi pienetä, koska joukon koko on pienempi, muttei välttämättä. Tyypillisesti korrelaation naapuripikselin välillä pienenee.

Myös moodi-arvojen käyttö muodostaa aineistosta osajoukon. Operaatiossa varianssi pienenee, koska ääriarvoja ei osajoukkoon tule. Pikselien arvot tulevat osajoukkoon alkuperäisinä, mutta alueella mahdollisesti oleva kuviointi (pattern) voi muuttua, kuten myös korrelaatio pikselien välillä.

Aineiston esitys useassa mittakaavassa

Usean erimittakaavaisen esityksen käyttöä tutkittiin esimerkin avulla. Kaksi aineistoa olivat Landsat TM-kuva, jonka kanavista oli muodostettu yksi kombinaatio ja saman alueen, Montanan kansallispuiston, korkeusmalli. Molemmilla aineistoilla oli sama resoluutio 30×30 m. TM-kuvasta oli tarkoitus mallintaa alueen biomassaa, sekä tutkia onko biomassan ja korkeuden välillä lineaarinen yhteys. Korkeus-biomassa – pistepilveen sovitettiin suora ja sovituksesta laskettiin selitysaste.

Alkuperäisiä aineistoja käytettäessä sovitussaste oli vain 0,46. Tämän jälkeen aineistoja yleistettiin keskiarvoistamalla kuvat ikkunoilla 33×33 ja 75×75. Suoran sovitus uusittiin ja selitysasteet kohosivat lukuihin 0,68 ja 0,71. Yleistystä jatkettiin vielä suuremmilla ikkunoilla, mutta selitysaste ei enää parantunut.

Selitysasteen paranemisen syyksi pääteltiin, että vaikka aineistojen alukepäinen resoluutio oli sama, aineistojen *operatiivinen mittakaava* ei ollut. Korkeusmallissa tyypillinen matka harjanteelta laaksoon on n. 60-80 pikseliä mikä vastaa suodatusta ikkunalla 75 pikseliä. Kasvillisuusvyöhykkeiden etäisyys taas vaihtelee kahdesta pikselistä viiteentoista. Yleistysoptimi löytyi siis suurimmasta operatiivisesta mittakaavasta.

Yleistyksen lisäksi selitysasteen paranemiseen vaikutti luultavasti korrelaatio, joka kohoaa keskiarvosuodatuksessa.

Mittakaavariippuvuuden ennustaminen

Operatiivisen mittakaavan lisäksi sopivan esitysmittakaavan valintaan on mahdollista käyttää semivarianssilukua ja fraktaaliteoriaa. Fraktaali on kuvio, joka näyttää aina samalta esitysmittakaavasta riippumatta. Fraktaaluvulla voidaan ennustaa, missä mittakaavassa uusia piirteitä tulee esiin aineistosta. Aluksi lasketaan semivarianssiluku, joka kertoo miten aineiston arvot muuttuvat eri näytteistys-etäisyyksillä.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \cdot N \sum_{i=1}^N (X_i - X_{i+h})^2, \text{ missä}$$

$\gamma(h)$ = semivarianssi,

X_i = arvo kohdassa x ja

X_{i+h} = arvo etäisyydellä h (resoluutio)

N = pariin xx lukumäärä

Semivarianssikuvaajan ($\gamma(h)$ h :n funktiona) gradientin s avulla voidaan laskea fraktaalidimensio D :

$$D = 3 - \frac{s}{2}$$

D lasketaan siis eri resoluutioille. Kuvaajassa D -resoluution-funktiona käännoispisteet määrittävät ne kohdat, joissa resoluutio tuo esiin uutta tietoa.

Maantieteellinen mittakaava

Maantieteellinen mittakaava liittyy operatiiviseen mittakaavaan. Jos tutkittavan alueen koko (maantieteellinen mittakaava) on pienempi kuin operatiivinen mittakaava vaatisi, mallit eivät käyttydy oikein. Esimerkkejä ovat mm. hydrologiset mallit. Eräs tapa tutkia asiaa on pitää resoluutiota vakiona, kasvattaa tutkittavan alueen kokoa ja seurata, vaikuttaako alueen kasvatus mallien ulostuloon. Asiaa tulisi tutkia lisää.

Yhteenveto

Mittakaavoja ovat maantieteellinen, kartografinen ja operatiivinen. Lisäksi resoluutio liittyy voimakkaasti mittakaavaan. Mittakaavan pienentäminen vaikuttaa aineistoon sovellettavien mallien ulostuloon.

LUKU 2:

Scale Dependence of NDVI and Its Relationship to Mountainous Terrain

Stephen J. Walsh, Aaron Moody, Thomas R. Allen and Daniel G. Brown

Tutkimuksessa selvitettiin kasvillisuusindeksin (NDVI) ja mittakaavan suhdetta vuoristoalueella. Artikkelin kolme hypoteesia olivat:

- Maankäyttöluokkien, kasvillisuusindeksin ja korkeuden suhde on mittakaavariippuvainen.
- Riippuvuuden tunteminen auttaisi ymmärtämään miten biofysikaaliset ilmiöt näkyvät kaukokartoitusaineistossa ja mitä mittakaavoja tulisi käyttää.
- Aineistojen mittakaavaa muuttamalla yhteys kasvillisuusindeksin ja kuvio muuttujien välillä paljastuu.

Aineistot

Tutkimuksessa käytettiin Landsat TM kuvaa Montanan kansallispuistosta. Tutkittavan alueen koko on 0,4 miljoonaa hehtaaria ja korkeus alueella vaihtelee välillä 1400-3000 m. Landsat kuvasta laskettiin paranneltu kasvillisuusindeksi NDVIC:

$$NDVIC = (NIR - RED) / (NIR + RED) \times [1 - (MIR - MIR_{\min}) / (MIR_{\max} - MIR_{\min})]$$

Kuva luokiteltiin maankäyttöluokkiin: lumi-jää, tuottamaton maa, tundra, niitty, avoin metsä (*open forest*) ja subalpine-metsä. Luokituksen tarkkuudeksi arvioittiin 85%. Landsat pikselin koko on 30×30 m.

Lisäksi käytössä oli alueen korkeusmalli, josta oli johdettavissa joka pikselille paitsi korkeus myös rinteiden kaltevuus eli gradientti ja gradientin suunta. Korkeusmallin avulla laskettiin myös auringon säteilysumma-pinta (*sunlight potential surface*). Pintaan vaikuttaa Montanan keskimääräisen auringonsäteilyn lisäksi pikselin sijainti ja suunta rinteellä sekä mahdolliset varjostavat naapurit.

Kuvan esikäsittely

Landsat kuvasta muodostettiin uusia kuvia, joissa resoluutiota huononnettiin asteittain 30×30 metristä aina 1050×1050 metriin yhdeksällä iteraatiokierroksella. Joka kierroksella tulokuva käsitti kuusi kanavaa, joiden arvot laskettiin kunkin uuden pikselin lähtöpikseleiden tilastollisista ominaisuuksista. Kanavat olivat:

- Keskiarvo
- Keskihajonta
- Coefficient of variation
- Paikallisen varianssin keskiarvo (*mean local variance*)
- Fraktaaliluku (Fractal dimension)
- Moranin autokorrelaation luku (*Moran's coefficient of spatial autocorrelation*)

Maankäyttöluokitus uusille kuville saatiin valitsemalla uuden pikselin luokaksi se, joka oli yleisin lähtöpikseleissä.

Myös korkeusmallista tuotettiin yleistetyt pinnat keskiarvoistamalla samoilla resoluutiolla kuin ladsat-kuvasta. Auringon säteily-pinnat tuotettiin erikseen joka resoluutiolle, jotta keskiarvoistus ei vaikuttaisi niihin.

Analyysit

Kasvillisuusindeksin arvoa selitettiin kolmella mallilla. Ensimmäisessä mallissa selittävä muuttuja oli korkeus, toisessa korkeuden, rinteiden kaltevuuden ja auringon säteilyn kombinaatio sekä kolmannessa edellä esitetyn kuuden tilastollisen tunnusluvun kombinaatio. Mallien pätevyyttä arvioitiin sovitussasteella sekä *slope coefficientillä*. Selitysasteista ja slope coefficienteistä muodostettiin kuvaajat resoluution funktiona.

Eri maankäyttöluokkien erottuvuutta arvioitiin Mahalanobis-etäisyydellä sekä laatikkokuvaajien (*boxplots*) visuaalisella tarkastelulla. Laatikkojen leveys x-akselin suunnassa vastaa pikselien määrää kussakin luokassa, laatikon keksikohta mediaania y-akselin suunnassa ja korkeus varianssista laskettua etäisyyttä (*Interquartile distance*). x-akselilla on siis luokat karuimmasta (lumi, jää) rehevimpään (metsä) ja pikselien määrä ja y-akselilla joko NDVI, korkeus tai rinteiden kulma. Lisäksi outlierit on piirretty viivoina laatikkojen ulkopuolelle. Jos luokat erottuvat kyseisellä parametrilla tarkasteltuna, niiden laatikot eivät mene y-akselilla päällekkäin. Laatikkokuvaajia muodostettiin kahdelle resoluutiolle 90 ja 900 metrille.

Tulokset

Laatikkokuvaajat

- Kuten oletettiin, NDVI kasvoi rehevämpiä luokkia kohti. Outlierien määrä oli huomattavasti pienempi resoluutiolla 900 m, myös luokkien sisäinen varianssi pieneni. Pienimmät luokat tahtoivat hävitä 900 m:n laatikkokuvaajissa.
- Maanpinnan korkeus korreloi maankäyttöluokituksen kanssa siten, että karuimmat luokat olivat korkealla ja rehevimät matalimmalla. Resoluution huononeminen ei vaikuttanut erottuvuuteen, mutta luokkien kokoerot kasvoivat.
- Rinteiden kaltevuus-kuvaajassa luokat sekoittuivat todella pahasti 900 m:n resoluutiossa.

Mallit

- Kaikkien kolmen mallien selitysasteet kasvoivat resoluution huononemisen myötä. Mallien I ja II selitysasteet olivat silti parhaimmillaankin vain 0,4 kun taas mallin III selitysaste oli 0,7.
- Tutkimalla slope coefficient-kuvaajia mallin III eri parametreille huomattiin, että vain parametreilla keskihajonta, coefficient of variation ja fraktaaliluku oli merkitystä.

Etäisyysmitta

- Tundra-luokan kasvillisuusindeksin Mahalanobis-etäisyyttä muihin luokkiin tarkasteltiin eri mittakaavoissa. Erottuvuus huononi resoluution huonotessa. Toisin kävi tarkasteltaessa Tundra-luokan korkeuden Mahalanobis-etäisyyttä muihin luokkiin. Tällöin erottuvuus parani rehevimpään luokkiin verrattuna, mutta huononi keskirehvään niitty-luokkaan verrattuna.
- Metsä-luokan vastaavassa vertailussa huomattiin, että kasvillisuusindeksin erottuvuus huononi resoluution huonotessa ja, mutta korkeus erottuvuus parani.

Johtopäätöksiä

- Kasvillisuusindeksin tulkinta satelliittikuvilta on mittakaavariippuvaista.
- Riippuvuus kasvaa resoluution huonotessa 30 metristä 300 metriin sekä 400 metristä 700 metriin parametreillä korkeus ja rinteiden kaltevuus.
- Parametreillä auringon säteily ja rinteiden kaltevuus riippuvuus kasvaa tarkemmilla resoluutiolla (30-210 m).

Luku 3:

Understanding the Scale and Resolution Effects in Remote Sensing and GIS

Changyoug Cao, Nina Siu-Ngan Lam

Johdanto

Artikkelissa pohditaan mittakaavan ja resoluution vaikutusta kaukokartoituksessa ja GIS-järjestelmissä. Tyypillinen tutkimus ongelma on kuinka suuri alue tutkimukseen on otettava, jotta maantieteellinen ilmiö tulee esiin ja mikä resoluutio aineistossa olisi oltava.

Mittakaava ja resoluutio

Mittakaavan neljä merkitystä ovat:

1. Kartografinen mittakaava tai karttamittakaava. Tällä tarkoitetaan kahden pisteen välisen etäisyyden suhdelukua kartalla ja maastossa.
2. Maantieteellinen mittakaava (geographic scale tai observational scale) tarkoittaa tutkittavan alueen maantieteellistä kokoa. Kartografisesta mittakaavasta poiketen jos suuri mittakaava tarkoittaa isoa aluetta ja pieni pientä aluetta.
3. Operationaalinen mittakaava tarkoittaa mittakaava, jossa tutkittu ilmiö vaikuttaa. Yhdellä ilmiöllä on yksi operatiivinen mittakaava, toisella ilmiöllä toinen.
4. Mittausmittakaava (measurement scale) tarkoittaa pienimmän aineistosta erotettavissa olevan yksikön kokoa maastossa. Satelliittikuvan tapauksessa mittausmittakaava on resoluutio.

Mittakaavariippuvuus (*scale dependency*) tarkoittaa sitä että havainnoitava maantieteellinen ilmiö muuttuu mittakaavan muuttuessa. Jos ilmiö ei muutu se on mittakaavainvariantti. Käytännössä maantieteelliset ilmiöt ovat lähes aina mittakaavariippuvaisia.

Mittakaavan liittyviä asioita

Ilmiön ollessa mittakaavariippuvainen ongelmana on aineistossa käytettävän perusyksikön koon valinta. Tulokset muuttuvat kun alkuperäisestä aineistosta muodostetaan osajoukko, mutta myös koska osajoukon muodostamisessa voidaan käyttää algoritmia, kuten keskiarvoistamista, jolloin tulosjoukon arvot eivät enää vastaa alkuperäistä aineistoa. Aineistolle laskettu autokorrelaatioluku voi viitata keskittyneeseen aineistoon yhdellä resoluutiolla mutta hajanaiseen aineistoon toisella resoluutiolla. Tutkija voi siten tehdä vääriä johtopäätöksiä.

Pikselin yhdistely yhdeksi vaikuttaa siis tuloksiin. Kolme eri virhetyyppiä jotka yleistyksistä voivat seurata ovat:

- Yksilöllinen harha (*individualistic fallacy*) tapahtuu kun makrotason päätelmiä yritetään muodostaa mikrotason päätelmistä.
- Tason sisäinen harha (*cross-level fallacy*) tapahtuu kun samalla tasolla olevan yhden osajoukon tuloksista tehtyjä päätelmiä soveltaa samalla tasolla olevaan toiseen osajoukkoon.
- Ekologian harha (?) (*ecological fallacy*) on yksilöllisen harhan vastakohta. Se tapahtuu kun makrotason päätelmiä yritetään soveltaa mikrotasolle.

Maantieteellinen prosessi, joka on vaikuttaa homogeeniseltä yhdessä mittakaavassa voikin olla heterogeeninen toisessa mittakaavassa.

Mittakaavan vaikutuksen arvioimisen menetelmät

Mittakaavan vaikutusta voi arvioida usealla menetelmällä. Artikkelissa menetelmiä esitetään neljä.

Maantieteellisen varianssin (*geographic variance*) menetelmässä ilmiön operatiivinen mittakaava löydetään laskemalla aineiston varianssi useissa eri mittakaavaisissa esityksissä. Operatiivinen mittakaava on se, jossa varianssi on korkeimmillaan. Yleisempien mittakaavojen varianssit voidaan laskea alempien tasojen varianssien neliösummina edellyttäen, että aineisto on hierarkkinen.

Paikallisen varianssin menetelmän muistuttaa maantieteellisen varianssin menetelmää, mutta siinä lopullinen varianssi lasketaan keskiarvona variansseista, jotka saadaan laskemalla 3×3 kokoisen ikkunan alueelle osuvista arvoista. Ikkunaa liikutetaan harppauksin yli aineiston. Ajatus on, että jos resoluutio on tarkempi kuin kuvassa olevat kohteet, varianssi on pieni, koska naapuripikselit ovat korreloituneet. Jos taas kohteet ovat resoluution kokoisia varianssi nousee, koska naapuripikselien korrelaatio vähenee. Kun resoluutiota vielä huononnetaan varianssi pienenee, koska useita kohteita ajautuu samaan pikseliin. Sopiva resoluutio on siis se, jossa varianssikeskiarvo saa suurimman arvon.

Tekstuurianalyysi on yleisesti käytetty menetelmä kuvankäsittelyssä. Tekstuurimittoja lasketaan liikkuvan ikkunan alueella eri resoluution aineistoille. Jos samaa aluetta kuvaavat tekstuurimitat poikkeavat eri resoluution aineistoilla, tämä vihjaa siihen, että alue on heterogeeninen tutkittavan ilmiön suhteen. Suuri tekstuuriluku voi myös tarkoittaa suurta varianssia, mikä viittaa taas operationaaliseen mittakaavaan.

Fraktaaliluku on kuvio, joka näyttää aina samalta esitysmittakaavasta riippumatta. Fraktaalimenetelmää voidaan soveltaa maantieteellisiin kohteisiin, vaikka hyvin harvat maantieteelliset kohteet ovat puhtaita fraktaaleja. Maantieteellisille kohteille lasketaan fraktaaliluvut eri mittakaavoilla. Jos luku muuttuu kahden eri resoluution välillä tämä viittaa operationaaliseen mittakaavaan. Fraktaaleihin perustuvia menetelmiä on useita.

Yhteenveto

Maantieteellisen ongelman tutkimisessa merkittävä asia on aineiston mittakaavan valinta. Mittakaava tulisi olla tutkittavan ilmiön operatiivinen mittakaava. Artikkelissa esitettiin neljä eri menetelmää mittakaavariippuvuuden analysoimiseksi. Maantieteellisen varianssin menetelmä soveltuu hierarkisiin aineistoihin. Paikallisen varianssin menetelmä ja tekstuurimenetelmä perustuvat 3×3 kokoisen ikkunan kuljettamiseen aineistossa ja maskina alle jäävien arvojen variansseihin. Fraktaalimenetelmässä fraktaaliluvun muutos eri mittakaavojen välillä kertoo ilmiön muutoksesta ja operatiivisesta mittakaavasta.

Luku 4:

Multiresolution on Covariation Among Landsat and AVHRR Vegetation Indices

Lee De Cola

Johdanto

Artikkelissa pohditaan moniresoluutioesityksen toteutusta ja sen vaikutusta pintojen tilastollisiin tunnuslukuihin kuten keskiarvoon ja varianssiin. Resoluutiosta puhuttaessa 'hieno' viittaa esitykseen, jossa pikseleitä on useita ja yksi pikseli kuvaa pientä mittakaavaa maastossa ja 'karkea' esitykseen, jossa pikseleitä on vähemmän ja yksi pikseli kuvaa isoa aluettamaastossa. Artikkelissa käytetään esimerkkinä Landsat TM-kuvilta sekä AVHRR-kuvilta laskettuja kasvillisuusindeksejä.

Moniresoluutioesitys

Kuvapyramidi tuotetaan alkuperäisestä kuvasta yleistämällä sitä toistuvasti operaattorilla $g(\cdot)$. Operaatiossa edellisen tason ulostulo on aina seuraavan tason lähtötieto. Yleistystä voidaan jatkaa, kunnes koko kuvasta on jäljellä vain yksi yksikkö, pikseli. Kuvapyramidiesityksen hyvä puoli on siinä, että koko pyramidi vie vain muistitilaa vain 1/3 enemmän kuin alkuperäinen, hienoimman resoluution taso. Kolmiulotteisissa kuvapyramideissa muistietu on vielä suurempi, lisäys alkuperäisen tason kokoon on vain 1/7.

Moniresoluutioesityksen varianssi

Jokaiselle kuvapyramidin tasolle voidaan laskea tunnuslukuja, kuten keskiarvo. Keskiarvon tulisi pysyä muuttumattomana läpi resoluutiotasojen. Varianssi on herkkä aineiston rakenteelle. Satunnaisaineiston tapauksessa seuraavan tason varianssia voidaan estimoida edellisen tason varianssista:

$$\sigma^2(A_{i+1}) \approx \sigma^2(A_i) / 2^E,$$

missä E on aineiston ulottuvuus.

Varianssin estimointi tällä kaavalla käy vain yhteen suuntaan, hienoimman resoluution tasosta karkeamman resoluution tasolle. Estimointia toiseen suuntaan on myös tutkittu. Tällöin ajatuksena on, että tason varianssi koostuu yllä olevien (karkeampien) tasojen varianssien summasta sekä kyseessä olevan tason lisästä.

$g(\cdot)$ ja muut operaattorit

Kuvalle tehtävä operaatio $f(\cdot)$ voidaan tehdä ennen tai jälkeen kuvapyramidin muodostuksen. Operaatiosta tulisi tietää, pitääkö paikkaansa että

$$f(g(A_i)) = g(f(A_i)),$$

eli onko lopputulos sama tehdäänkö operaatio jo yleistetylle resoluutiotasolle vai yleistetäänkö vasta operaation jälkeen. Esimerkkinä operaatiosta voi olla esimerkiksi kasvillisuusindeksin laskenta alkuperäisistä kanavista. Jos yleistyksen ja operaation järjestyksellä ei ole väliä, voi olla laskennallisesti tehokkaampaa tehdä operaatio ensin ja sitten muodostaa lopputuloksesta kuvapyramidi. Operaatioiden järjestyksen merkitystä tulisi tutkia lisää.

Esimerkki TM ja AVHRR-kuvilla

Eri resoluutiotasojen kovarianssia tutkittiin esimerkillä. Aineistona käytettiin Ladsat TM-kuvaa ja AVHRR-kuvaa. TM-kuvasta muodostettiin yhdeksän tason kuvapyramidi, jossa hienoimman tason resoluutio oli 31,25 m ja karkein 16 km. AVHRR kuvasta, jonka hienoin resoluutio oli 1000 m, muodostettiin 5 tasoinen pyramidi.

TM-kuvapyramidin parittomat tasot paljastivat aineistosta uusia asioita, esim. 7-tasolla näkyi maanpinnan muotojen suuntaus ja tasolla 3 järjen ääriviivat. Kaikille tasoille laskettiin tilastolliset tunnusluvut. Luvuista pääteltiin, että varianssi kasvaa hienoilla kuvatasoilla kuten myös ääriarvot. Keskiarvo pysyi samana, mutta mediaani siirtyi karkeilla tasoilla etäämmälle keskiarvosta, mikä viittaa suuntaukseen aineistossa. Lukujen avulla tutkittiin myös varianssin lisäystä eri tasojen välillä. Kuudennen tason kohdalla lisäys oli nolla, mikä viittasi jonkun 2000 m kokoisen kuvion esiintymiseen aineistossa.

Kasvillisuusindeksi laskettiin ennen ja jälkeen kuvapyramidin muodostuksen ja tuloksia verrattiin toisiinsa. Tulokset olivat melkein samoja ($r=0,995$), mikä viittasi siihen, että operaattoreiden järjestyksellä ei tässä tapauksessa ole merkitystä.

TM-kuvapyramidin tasoa viisi verrattiin AVHRR-kuvapyramidin tasoon viisi. Visuaalisessa tarkastelussa kuvat korreloivat. Eri kuvien resoluutiotasoja 16000 m, 4000 m ja 1000 m vertailtiin pistediagrammilla. Karkeimmalla tasolla kuvat korreloivat, mutta hienoimmalla tasolla oli havaittavissa eroja ($r=0.82$). TM ja AVHRR –kuvien erotuskuvasta oli nähtävissä suurien teiden kohdalla kuvio, joka tosin saattoi johtua hetkellisestä vaihtelusta kuvausajankohtien välillä, mutta myös kuvausinstrumenttien resoluutioiden erosta.

Kahden aineiston vertailusta huomattiin, että vaikka AVHRR-kuvan resoluutio ei riitä kaikkiin sovelluksiin, joihin TM-kuvan resoluutio riittää, AVHRR-kuva voi olla käytännöllisempi pienen kokonsa ansiosta karkeamman tason sovelluksiin.

Johtopäätökset

Kuvapyramidi on hyödyllinen tiedon tallennusmuoto kuva-analyysissä. Pyramidi on vain 1/3 – suurempi kuin kuvan alkuperäinen koko. Operaattoreita voidaan soveltaa joissakin tapauksissa kuvan alukepäiselle tasolle ennen kuvapyramidin muodostusta ja säästää siten laskentaa. Resoluutiotasojen tilastollisten tunnuslukujen analyysi voi paljastaa kuvalla esiintyvistä ilmiöstä tietoa.

Tutkimuksessa verrattiin TM- ja AVHRR-kuvia eri resoluutiotasoilla, sekä kuvista laskettua kasvillisuusindeksiä. Vaikka kuvien välillä oli korrelaatio, erityisesti hieno resoluution tasolla oli eroja. Erot voivat johtua

- Muutoksesta kuvausajankohtien välillä
- Sensorien luontaisesta yhteensopimattomuudesta
- Eroista kolibroinnissa
- Virheistä kuvien rekisteröinnin

Vaikka pyramidi muodostetaan 'pohjasta huippuun' menetelmällä, sen analysoiminen toiseen suuntaan, 'huipusta pohjaan' on luonnollista. Historiassakin edetään menneistä ajoista nykyisyyteen.

Luku 5:

Multiscaling Analysis in Distributed Modeling and Remote Sensing: An Application Using Soil Moisture

Ralph Dunbayah, Eric F. Wood and Daniel Lavaellée

Johdanto

Ympäristön mallinnuksessa käytetään tyypillisesti useasta eri lähteestä peräisin olevia aineistoja. Aineistot ovat vain harvoin samassa mittakaavassa. Jos aineistoja hyödynnetään niiden alkuperäisessä mittakaavassa, mallinnus ei ehkä vastaa tutkimuksen tarpeita. Aineiston skaalaus johonkin toiseen mittakaavaan taas vaikuttaa aineistosta laskettuihin tilastollisiin momentteihin, eikä muutos ole lineaarinen.

Maanpinnan kosteus (*soil moisture*) on suure, jonka arvo vaihtelee rajusti sekä metrien etäisyydellä, että satojen kilometrien etäisyydellä. Mittakaavan vaikutusta kosteuden mallintamiseen ymmärretään huonosti, koska sen mittaaminen ja mallintaminen on vaikeaa. Hydrologisen mallin syötetietoina voi olla esim. säteily, sadanta, lämpötila, maanpinnan topografian ja maanpeiteluokat. Jos mallin ulostulo halutaan 10 km gridinä vaihtoehtoja on kaksi:

- muuntaa kaikki lähtötiedot resoluutioon 10 km
- antaa lähtötiedot 1 km:n resoluutiosta ja yleistää lopputulos 1 km resoluutiosta 10 km:n resoluutioon.

Kummassakin tapauksessa lopputulos poikkeaa siitä, että aineistojen alkuperäinen mittakaava olisi sama kuin mallin haluttu ulostulo 10 km. Poikkeaman suuruuteen vaikuttaa hydrologisessa mallissa käytettyjen kaavojen epälineaarisuus, aineiston autokorrelaatio, kenttien käyttäytyminen skaalauksessa ja mallin interaktiivisuus.

Artikkelissa esitellään koetyö, jossa mallinnetaan maanpinnan kosteutta. Kaksi menetelmää ovat 200 m:n resoluutiosta oleva mikrometriaineisto ja energia ja vesitasapaino (*water balance*) -mallin ulostulo 30 m:n resoluutiosta.

Teoriaa

Tilastollisten momenttien ϕ_λ odotusarvoja $E(\phi_\lambda)$ voidaan estimoida kaavalla:

$$E[(\phi_\lambda)^q] \propto \lambda^{K(q)} E[(\phi_1)^q], \text{ missä}$$

q on momentin kertaluku, λ on mittakaavan kerroinluku (karkeimmalla mittakaavalla $\lambda=1$) ja $K(q)$ on momenttien skaalauksen eksponentti (*scaling exponent*). Kaavan merkitys on siinä, että skaalauksen eksponentit eivät ole laskettavissa mittakaavan funktiona. Jos luvut $K(q)$ tunnetaan, mallinnettavan prosessin tilastolliset tulokset, joka havaitaan yhdessä mittakaavassa, voidaan siirtää johonkin toiseen mittakaavaan kerroinlukujen $K(q)$ avulla.

Aineistot

Tutkimuksessa käytettiin 8 päivän aikana mitattuja aineistoja Oklahoman koalueelta. Ajanjaksona tapahtui säännöllinen kuivuminen. Käytössä oli ESTAR radiometrin aineisto, joka mittaa maanpinnan emissiota L-kaistalla.

Mallinnus

Koetyössä maanpinnan kosteus mallia ajettiin joko globaaleilla parametreilla auringon säteily, sadanta ja pitkäaaltoinen säteily tai pinta säteilyn parametreilla. Mallia ajettiin 3 tunnin välein meteorologisten tietojen avulla.

Kertoimille $K(q)$ estimoitii arvot aineistosta eri mittakaavoille (λ) yleistämällä. Tämän jälkeen momenteille 2-6 laskettiin arvot $K(q)$ kertoimien avulla eri mittakaavoissa. Saatuja tuloksia verrattiin mallilla laskettuihin arvoihin.

Tulokset

Ensimmäinen momentti, keskiarvo, oli suunnilleen sama laskettaessa mallilla tai estimoiduilla kertoimilla. Toinen momentti, eli hajonta, sen sijaan poikkesi. Momentit 3-6 vastasivat toisiaan. Yleisesti selitysasteet kuvaajilla (mallin antama momentti – kertoimilla laskettu momentti) olivat suurempia kuin 0,98.

Yksittäisen momentin skaalauseksponentin arvot saattoivat vaihtua eri päivinä, mutta päivien aikana tapahtunut kuivumisprosessi ei juuri näkynyt kertoimien arvoissa.

Tulosten analysointia

Joinakin tiettyinä päivinä malli ja kertoimilla lasketut momentit eivät vastanneet toisiaan. Niinä päivinä, joina estimointi toimi, momenteja voidaan ennustaa eri mittakaavoille laskentakaavojen avulla.

Yleistyksessä ongelmia tuottivat alueet, joilla maskin alueelle osui pikseleitä, joilla ei ole arvoa. Näitä alueita ovat mm. tiet. Eri resoluutiotasoja tuotettaessa karkeamman resoluution pikselin arvo jätettiin myös tyhjäksi, jos maskin alueelle oli osunut yksikin tyhjä pikseli. Tämä menetelmä johti siihen, että karkeimman resoluution aineistossa tyhjiä alueita oli aika paljon. Niiden välttämiseksi suurin maskin koko oli 8×8 pikseliä.

Kuten alussa mainittiin, jos syöttötiedot yleistetään mallin ulostulon resoluutioon, tulos ei ole sama kuin jos syöttötiedot olisivat alun perin samassa resoluutiossa, kuin mallin ulostulo.

P.S. Sekava artikkeli.

Luku 6:

Examining the Effect of Sensor Resolution and Sub-Pixel Heterogeneity on Spectral Vegetation Indices: Implications for Biophysical Modeling

Mark. A. Friedl

Johdanto

Kaukokartoitus on ainoa keino mallintaa monia globaaleja luonnonilmiöitä. Maanpinnan muuttujien mallintamiseksi karkean resoluution aineistosta on kuitenkin ymmärrettävä pikselin sisäistä vaihtelua, käänteismallinnusta ja biofysikaalisia malleja. Artikkelissa esitellään FIFE-projektin (The First ISLSCP Fiel Experiment) tuloksia. Projektin tarkoituksena oli tutkia kuinka mittakaavan muutokset ja niiden ominaisuudet kasautuvat biofysikaalisissa malleissa.

Biofysikaalisten mallien skaalaus

Biofysikaalisia käytetään ekologisten prosessien simuloimiseen, esimerkiksi yhteyttämisen. Simulaatiota on käytetty menestyksekkäästi 1-D prosessin hienomman mittakaavan tuottamiseen. Näissä tapauksissa ilmiön ja sen muuttujaparametrien arvojen oletetaan olevan homogeenisiä mallinnettavalla alueella. Valitettavasti tämä toimii vain, jos malli on lineaarinen parametreilleen. Toisen muuttujien varianssi on suuri jo lyhyilläkin matkoilla (esim. ravinteiden saatavuus) kun taas toiset parametrit pysyvät muuttumattomina pitkiäkin matkoja (esim. säteily). Ongelma on siis kuinka yleistää tarkat mittaukset siten että prosessin fysiikka ja paikallinen heterogeisuus säilyy. Neljä lähestymistapaa ovat: paloittainen muunnos joka perustuu odotusarvo operaattoriin, momentin laajennus, partitiointi ja kalibrointi.

- **Paloittainen muunnos**

Paloittaisessa muunnoksessa varianssin todennäköisyysfunktioita käytetään arvioitaessa mallin ulostuloa kyseessä olevalla alueella. Ongelma on, että toisistaan riippuvien muuttujien yhteisjakautumia ei yleensä tunneta.

- **Momentin laajennus**

Momentin laajennuksella tarkoitetaan tässä Taylorin sarjakehitelmien käyttöä mallien linearisoimiseksi. Tämä edellyttää, että matemaattinen malli on derivoitavissa tai että korkeammat derivaatat ovat nolliä.

- **Partiointi, jakaminen**

Alen jaetaan pienemmiksi yksiköiksi ja jaotellaan uudestaan siten, että uusien alueiden sisäinen on mahdollisimman pieni ja alueiden välinen varianssi on suuri.

- **Kalibrointi**

Kokeellisesti selvitetään korkeiden ja karkeiden resoluutioiden välinen yhteys käytetyssä mallissa. Tämä edellyttää karkearesoluutioisten aineistojen olemassaoloa (ei tuotettu tarkan resoluution aineistosta.) Mallia voidaan käyttää vain tutkituilla resoluutiotasoilla.

Kaukokartoituksen käyttöä biofysikaaliseen mallintamiseen on tutkittu runsaasti. Suurin osa kehitetyistä algoritmeista mallintaa maanpinnan säteilytasapainoa, säteilyn vaikutusta kasvillisuuteen ja säteilyn aiheuttamien prosesseihin. Lopullisena tavoitteena on käyttää matalaresoluutioisia kaukokartoitusaineistoja globaaliin muutostulkintaa. Useissa näissä tutkimuksissa kasvillisuus oletetaan vertikaalisuunnassa homogeeniseksi, sivusuunnassa jatkuvaksi pinnaksi. Käänteismallinnuksessa tämä aiheuttaa ongelmia. Joissakin uusissa tutkimuksissa kasvillisuus mallinnetaan rykelminä. Mittakaavamuunnokset kaukokartoitusaineistossa ovat monimutkaisia johtuen instrumentin mittaustilasta, mm. valaisusta, avauskulmasta, kaksisuuntaisesta heijastuksesta jne.

Tutkimus

Tutkimuksessa oli käytössä useita eri resoluutioisia kaukokartoitusaineistoja samalta alueelta, alueen kartta ja maastomittauksia. Satelliittikuvalta lasketun vihreys kasvillisuusindeksin (GVI) varianssia verrattiin maastomittausaineistosta laskettuun varianssiin. Huomattiin, että kasvillisuuden vaihtelu maastossa selitti noin 40 % GVI:stä. Tähän tulokseen perustuen muodostettiin rakenne, jolla maastotietoja voitiin yhdistää tavalla, joka mahdollisimman hyvin korreloi satelliittikuvan kanssa. Tutkimuksessa simuloitiin kaukokartoitusaineistoa tavalla, joka jäljittelee kaukokartoituksen mittaustilannetta. Malli koostuu kolmesta osasta: maamallista, ilmakehämallista ja sensorimallista.

- **Maamalli**

Maamallissa ovat alueen biofysikaaliset ominaisuudet. Simulaatiossa tuotetaan pinta, jonka ominaisuudet vastaavat realistisesti tutkittavaa parametria, esimerkiksi LAI:ta (Leaf area Index) Tätä varten on selvitetty maastosta tunnettujen parametrien ja LAI:n yhteys, vaikuttavia asioita ovat mm. kasvillisuustyyppi, rinteiden asento ja maankäyttö.

- **Ilmakehämalli**

Mallissa lasketaan ilmakehän yläpinnan säteily (TOA) aallonpituusalueen, auringon geometrian ja sensorin asennon funktiona. TOA yhdistetään aiemmin kuvattuun maamalliin ja tämä toimii inputtina sensorimallille.

- **Sensorimalli**

Sensorimallissa huomioidaan sensorin sähkömagneettiset ominaisuudet, kuten kohina, vastefunktiot ja digitalisointi. Mallin ulostulo on simuloitu digitaalinen kuva alueesta tietyllä aallonpituusalueella, auringon asennolla ja käyttäjän antamalla maa-alueella ja ilmasto-olosuhteilla.

Tutkimuksessa tuotettiin simuloitua satelliittikuvia koealueelta useilla eri resoluutioilla alkaen 150 metristä aina 990metrin pikselikokoon. Koealue on kukkulamaisema Kansasin osavaltiossa Yhdysvalloissa. Maamallin parametrit estimoitiin siten että LAI:n arvo ja hajonta vastasivat koealueen ominaisuuksia. Simuloitujen kuvien kanavista laskettiin NDVI:t. Toisaalta LAI:n ja FPAR:n arvot laskettiin käänteisesti NDVI:stä Baret:n ja Guyot:n kaavoilla. Näin saatujen arvojen suhteita toisiinsa vertailtiin.

Yleisesti NDVI:n suhde LAI:n ja FPAR:n säilyi, mutta mittakaavan muunnos aiheutti kohinaa ja systemaattisen virheen. Mittakaava, jossa kohina oli suurimmillaan vastasi mittakaavaa, jossa maamallin vaihtelu oli suurimmillaan. Toinen tärkeä tulos oli se, että sensorin mittamaan alueen koko vaikutti parametrien suhteisiin. Mitä suurempaa aluetta sensori kuvaa, sitä keskiarvoistetumpi mittaustulos on. Tällöin NDVI:stä laskettujen LAI:n ja FPAR:n varianssi pieneni oli pienempi kuin maamallin LAI:n. Tämä virhe kasautui energiatasapainomallissa, kuten seuraavassa tutkimuksessa huomattiin.

Kaksitasoisista energiatasapainomallia käytettiin juuri lasketuilla LAI:n arvoilla ja estimoitiin sitoutuneen ja aistittavan lämmön ja virtauksia (LH, SH, fluxes of latent and sensible heat). Näitä arvoja verrattiin maastomittauksiin. Huomattiin, että systemaattinen virhe LAI:n arvoissa aiheutti systemaattisen virheen LH:n ja SH:n estimaateissa.

Johtopäätös

Satelliittikuvien simulointi on hyvä tapa selvittää eri mittakaavan vaikutusta satelliittikuvista johdettujen parametrien arvoihin. Näin voidaan tutkia yksittäisen virhelähteen vaikutusta ilman muiden virhelähteiden kontribuutiota.

Luku 7:

Multiscale Vegetation Data for the Mountains of Southern California: Spatial and Categorical Resolution

Janet Franklin and Curtis. E. Woodcock

Johdanto

Ympäristön suunnittelu edellyttää ekosysteemien toiminnan ymmärtämistä. Ilmastonmuutoksen vaikutus, kasvuodotukset ja ympäristön konservointi ovat luoneet tarpeen kartoittaa kasvillisuutta sekä pienessä että suuressa mittakaavassa. Oletusten vastaisesti suurimittakaavaisista aineistosta tuotetut kasvillisuusvyöhykkeiden rajat eivät ole yhteensopivia kaukokartoituksella ja GIS:llä tuotettujen kasvillisuuskuvioiden rajojen kanssa.

Taustaa

Aiempien tutkimuksien perusteella kasvillisuustietokanta tulisi järjestää seuraavasti:

- Kasvillisuuden kartoitus edellyttää mallia, jossa kasvillisuus on maantieteellinen ilmiö. Malli sisältää esim. gradientit (muutoksen suunta), alueet on kuvattu kenttinä tai olioina perustuen niiden ominaisuuksiin.
- Kartoitus toteutetaan hierarkisesti. Hierarkia voi perustua mm. alueisiin; piste, kuvio, ala (*landscape*), alue (*region*) tai taksonomiaan; kasvi, kasvisuku, päällystyyppi (*cover type*) ja muodostelma.
- Taksonomia ja prosessi hierarkiat eivät ole välttämättä aluepohjaisia; ts. eri luokat voivat mennä päällekkäin ja pinnat voivat olla epäjatkuvia.

Tutkimus, koetyö

Kaliforniassa sijaitsevasta koealasta tuotettiin kuvioittainen kasvillisuustietokanta käyttämällä Landsat TM-kuvia. Kuva segmentoitiin alueen kasvatus-algoritmillä kanava- ja tekstuuritietoihin perustuen. Toisaalta kuva luokiteltiin pikselikohtaisesti ei-ohjatulla luokittelualgoritmillä. Segmentoitu kuva ja luokitustulos yhdistettiin kasvillisuusluokitus-teemakartaksi, joka on käytössä alueella. Koko segmentti sai sen luokan, jonka pikseleitä segmentissä oli eniten. Luokat tunnistettiin ilmakuvasta.

Toinen, aloihin perustuva (*landscape based*) kasvillisuustietokanta tuotettiin samalta alueelta. Alat ovat suurempia kuin kuviot, ne rajattiin manuaalisesti Landsat-kuvalta ja niihin liitettiin ominaisuustietoja koskien alueiden kasvillisuutta. Ominaisuustiedot olivat peräisin useista eri tietolähteistä.

Tulosten analysointia

Kuviopohjaista tietokantaa tuotettaessa huomattiin, että segmentoinnissa ja luokituksessa saadut aluerajat eivät sopineet toisiinsa. Yhden segmentin sisään saattoi osua useita luokkia edustavia pikseleitä. Koska segmentit saivat sen luokan, jonka pikseleitä siihen osui eniten, jotkut luokat hävisivät teemakartalta kokonaan. Yleisesti ottaen luokkien suhteet muuttuivat. Luokkien tunnistamisessa ilmakuvasta oli myös vaikeuksia; alueella käytetyn CALVEG-luokituksen luokista osa sekoittui toisiinsa.

Aluepohjaisen tietokannan eri kasvillisuusalueiden pinta-alat laskettiin ja niitä verrattiin kuvioittaisen kasvillisuusluokituksen pinta-aloihin. Määrät täsmäsivät aika hyvin. Erot selittyivät lähinnä luokituseroilla, koska kuviotietokannan luokitus ei ollut sama kuin aluetietokannan.

Kuviotietokannan reunoja verrattiin myös alueitietokannan reunoihin. Usein kuvioluokat olivat vastaavan alueluokan sisällä, mutta reunojen päällejäytössä syntyi myös uusia alueita, joilla oli yksi luokitus kuviotietokannasta ja toinen aluetietokannasta.

Johtopäätöksiä

Vanhoja maastomittaustietoja muita aineistoja voidaan hyödyntää liittämällä ne satelliittikuvalle tehtyyn luokitukseen. Kalliit maastomittaukset tulevat näin uudelleenhyödynnetyksi.

Koetyössä vertailtiin kuvio- ja aluepohjaista kasvillisuusluokitusta. Kuviopohjaisen luokituksen voidaan ajatella edustavan suurimittakaavaista aineistoa ja aluepohjaisen pienimittakaavaista aineistoa. Eri mittakaavaisten aineistojen rajat eivät tyypillisesti osu kohdakkain. Rajojen päällejäytössä syntyvät uudet alueet eivät kuitenkaan aina ole virheellisiä, vaan erot voivat johtua eroista aineistojen luokituksista. Esim. kuvio mäntymetsä sopii alueeseen kuiva kangas.

Luku 8:

The Use of remotely Sensed Surface Temperatures from an Aircraft-Based Thermal Infraed Multispectral Scanner (TIMS) to Estimate the Spectral and Temporal variability of Latent Heat Fluxes and Thermal Response Numbers from a White Pina (*Pinus strobus* L.) Plantation

Jeffrey C. Luvall

Johdanto

Tutkimuksessa lämpösäteilyä mittaavan spektrometrin (TIMS) kuvia käytettiin mäntymetsän aistittavan ja sitoutuneen lämmön mittaamiseksi. TIMS-instrumenttia käytettiin lentokoneesta ja kuvien resoluutio oli n. 5 metriä. Sama metsä mitattiin toistuvasti yhden päivän aikana. Tutkimuksen tavoitteet olivat:

- selvittää mäntymetsän latvuksen vuorokautinen lämpövaihtelu ja homo/heterogeenisuus TIMS-kuvilta lasketuista estimaateista
- verrata latvuksen lämpötilan TIMS estimaatteja maastomittauksiin, joissa mitattiin neulasten lämpötila
- verrata evapotraspiraation (maan pinnalta suoraan ja kasvien hengitystoiminnan kautta haihtuvan veden kokonaismäärä) TIMS kuvilta laskettuja estimaatteja maastomittauksiin
- tutkia latvuksen vuorokautista lämpövaihtelua käyttämällä lämpölukua (thermal response number) ja sitä kuinka se liittyy pinnan lämpötasapainoa

Koealueena käytettiin Pohjois-Caroliinan osavaltiossa sijaitsevaa mäntymetsää, jossa lämpösäteilyä on mitattu viidellä asemalla ja 135 kohteessa 50 vuoden ajan.

Aineistot

TIMS-spektrometrissä on kuusi kanavaa alueella 8,2-12,2 μm ja sen mittaama kaista $\pm 30^\circ$ pystysuorasta. Mittauksia tehtiin kolme, auringonnousun jälkeen, keskipäivällä ja auringonlaskun aikaan. Joka mittauksessa tehtiin kaksi lentoa 30 min väliajoin. Maastotöissä mittausinstrumentteja sijoitettiin lennon ajaksi torniin, jonka huippu on n. 3 m:n korkeudella puiden latvoista. Instrumenteilla mitattiin tulevan lyhyt- ja pitkäaaltoisen säteilyn määrä sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus. Johtolämpömittareita (wire thermocouple) kiinnitettiin puiden neulasiin latvuston kolmeen kerrokseen, pohja-, keski- ja yläkerrokseen.

Menetelmät

TIMS-instrumentilla mitattiin pinnan lämpötila. Muutos lämpötilassa voi johtua pinnan ominaisuuksista tai energian siirtymisestä. Pinnan nettosäteilystä ja säteilyn vuosta laskettiin ns. lämpöluku. Lämpöluku on merkittävä, koska se on syöttötietona monissa ilmastomalleissa, se voidaan määrittää kaukokartoituksella ja on mittakaavasta riippumaton. Evapotranspiraatiota estimoitii Penman-Monteit kaavalla, jonka syötetiedot saatiin tornista tehdyistä mittauksista.

Tulokset

- *Latvuston lämpötilojen heterogenia*

Tutkimuksissa todettiin, että latvuston sisällä lämpötila vaihtelee merkittävästi jopa samaa lajia ja ikää edustavissa puissa. Syynä tähän on topografiasta johtuva auringon säteilyn epätasainen jakautuminen. Aamulennolla lämpötilat vaihtelivat välillä 15,8 - 20 ° n. 15 hehtaarin alueella. Aamu, keskipäivä ja iltalennoilla lämpötilajakaumat vaihtelivat; niiden muoto pysyi samana, mutta maksimi siirtyi keskipäivällä 25 ° kohdalle ja illalla 15,8° kohdalle. Aiemmissä tutkimuksissa on huomattu, että jakauma on tyypillinen tietynlaiselle metsällä. Jakauman muotoon vaikuttavia tekijöitä ovat puuston ikä ja rakenne. Lämpötilavarianssi, joka voidaan mitata TIMS-kuvilta on tärkeä, jotta mikroilmastoa mittaavat sensorit voidaan asettaa oikeisiin kohtiin.

Neulaslämpötilat ja TIMS-kuvilta mitatut lämpötilat poikkesivat toisistaan erityisesti aamulennolla. Tämä johtui siitä, että osassa neulasista aamukaste laskee lämpötilaa. TIMS-kuvilla lämpötila oli keskiarvo isommasta alueesta, jolloin märkien neulasten vaikutus pieneni. Neulaslämpötilat ja TIMS-lämpötilat lähenivät toisiaan auringon valaistessa latvuston ja kasteen kuivuessa. Ilmiössä voidaan nähdä pistemäisen mittausaineiston ja rasterimuotoisen kaukokartoitusaineiston vertailun perusongelma.

- *Sitoutunut lämmön vuo*

Sitoutuneen lämmön vuota estimoitiin TIMS-kuvilta, laskettiin Penman-Monteit kaavalla sekä johdettiin neulaslämpötilamittauksista. Arvot vastasivat toisiaan keskipäivän lennolla. Aamulla TIMS-arvot olivat kuitenkin huomattavasti suurempia kuin Penman-Monteit kaavalla lasketut arvot tai maastomittausarvot. Tähänkin syyksi epäiltiin TIMS-mittauksen keskiarvoistavaa vaikutusta.

- *Lämpöluku*

Lämpöluvun muutos latvustossa liittyi energian siirtymiseen. Ajanjaksona, jona energia siirtyi suurimmaksi osaksi sitoutuneeksi lämmöksi, myös lämpöluku kasvoi. Latvusto lämpeni aamulla asteen ja edelleen keskipäivällä asteen. Yhden asteen muutos keskipäivällä nosti lämpölukua kolmikertaisen määrän verrattuna aamuun, koska keskipäivällä energia muuntui sitoutuneeksi lämmöksi.

Johtopäätökset

- Kaukokartoituksella havaitut pintalämpötilat ovat merkittäviä malleissa, joissa estimoidaan metsän evapotranspiraatiota ja hydrologista kiertoa.
- TIMS-kuvilta estimoidut pintalämpötilat ja evapotranspiraation arvot vastasivat maastomittauksien tuloksia keskipäivän lennolla; aamulla vastaavuus ei ollut hyvä.
- Metsän mikroilmaston vaihtelevuus vaikeutti pistemittauksien vertaamista kaukokartoitusaineistoihin, joissa mittakaava on tyypillisesti pieni. Jopa saman ikäisessä metsässä esiintyy lämpötilavarianssia. Ongelma on erityisen suuri vuoristoalueilla.
- Lämpölukua voidaan käyttää pintojen luokitteluun. Lämpöluku on johdettavissa monista kaukokartoitusaineistosta ja siksi se soveltuu globaaleihin ilmastomalleihin. Muutos lämpöluvun arvossa kertoo energian siirtymisestä sitoutuneeksi lämmöksi aistittavan lämmön sijasta. Lämpöluku on mittakaavariippumaton suure.

Luku 9:

Scaling Predicted Pine Forest Hydrology and Productivity Across the Southern United States

Steven G. McNulty, James M. Vose and Wayne T. Swank

Tutkimuksessa selvitetään, miten syötetietojen yleistys ja mittakaava vaikuttaa hydrologisilla malleilla laskettujen estimaattien virheisiin.

Mallin mittakaavat

Malli, PnEt-IIS, estimoii metsän hydrologiaa ja tuottoa kuvio-, ekosysteemi- ja aluetasoilla. Näistä kuviotasolla mittakaava on suurin ja aluetasolla pienin. Yleistysasteen ja alueen koon välillä vallitsee yhteys:

Mittakaava	Yleistys	Alueen koko
Kuvio	Vähän	1-10 ha
Ekosysteemi	Keskikertaisesti	10-1000 ha
Alue	Paljon	>100,000 ha

Mallin testaus

Tutkimusalueelta tulisi olla mastoaineistoja, jotta mittakaavan vaikutusta mallin toimintaan voitaisiin tutkia. Varsinkin pienen mittakaavan aineistoja käytettäessä alue on niin laaja, ettei yksi tutkija voi kerätä koko maastoaineistoa. Tämän johdosta käytetään valmiiksi olemassa olevaa aineistoa. Mallin laskemien parametrien tarkkuutta voidaan tutkia myös käyttämällä vertailuaineistona suuremmalla mittakaavalla laskettuja mallin parametrejä, jotka yleensä ovat tarkempia.

Mallin rakenne

Hydrologinen malli estimoii koealan haihdunnan (evapotranspiration, ET), veden salaojituksen (water drainage) ja netto tuoton (net primary productivity, NPP). Estimaatit laskettiin funktiona muista parametreistä. Syötetietoja oli kolmenlaisia; maa-ainekseen, ilmastoon ja kasvillisuuteen liittyviä. Maa-ainesta kuvattiin vedenpidätyskyvyllä, ilmastoa kuukauden korkeimmalla ja matalimmalla lämpötilalla, sadannalla ja kuukauden säteily määrällä. Kasvillisuuden kuvauksessa malli käytti kullekin lajille ominaista kerrointa, joka oli vakio alueella tai sitten vaihteli suhteessa ilmasto- ja maatietoihin.

Kuviotason mallinnus

Kuviotason mallissa käytettiin paikkakohtaisia arvoja vedenpidätyskyvyille, ja kasvillisuuskertoimelle; mallissa ei huomioitu kuvion puuston iän tai runkoluvun vaihtelua. Koealana oli yksi hydrologialtaan tunnettu mäntymetsä, josta oli olemassa myös meteorologiset tiedot.

Kahden parametrin, ET:n ja drainagen estimaatteja arvioitiin kahdella vertailulla. Ensiksi verrattiin vuosittaista jokien virtaamaa mallilla ennustettuun drainage:n arvoon. Toiseksi verrattiin PnEt-IIS-mallin ET estimaattia Prosper-mallilla laskettuun estimaattiin. Prosper mallissa käytetään meteorologisia tietoja yhdessä kasvillisuustietojen ja maaperätietojen kanssa. Malli perustuu sähkönkentän kaavoihin, pinnan haihdunnan arvioimiseksi (???)

Vertailussa huomattiin, että PNet-IIS-mallin estimaatti korreloivat huonosti mitatun jokien virtaaman kanssa. Estimaatti oli epätarkka useampina vuosina, eikä virheessä esiintynyt systemaattista virhettä, joka olisi selitettävissä ilmasto-olosuhteilla. Myös ET estimaatit (PNet-IIS ja PORSPER mallien) korreloivat heikosti. Tarkkailujakson aikana koalueella tapahtui kuivuminen, joka ei näkynyt PNet-IIS - estimaatissa. Syyksi huonoon korrelaatioon epäiltiin pohjavesivarastoja, jotka eivät ole mallissa mukana.

Ekosysteemin mallinnus

Ekosysteemitasolla meteorologisia tietoja käytetään yleistämättä, mallin estimaatit ja vertailussa käytetyt tuottotiedot olivat paikkakohtaisia. Koelana ekosysteemin mallinnuksessa käytettiin 12 metsää Yhdysvaltojen eteläosissa. Koelaoille oli yhteistä, että niillä kasvoi hakkuuvalmis puusto, vähintään 95 % puustosta oli mäntyä, koelaoilla ei ollut suoritettu harvennusta ja maasto oli tasaista.

Ekosysteemitasolla mallinnettiin nettotuottoa, jonka mittaaminen maastossa on erittäin hankalaa. Jotta vuosikasvu voitaisiin mitata, puusto tulisi kaataa. Tutkimuksessa vuosikasvua estimoitiin vain puun halkaisijan kasvulla vuoden aikana (vuosirengas) ja kasvu mitattiin puista oksasaksilla rinnankorkeudelta. Mittaus tehtiin muutamasta puusta ja tulokset yleistettiin koskemaan koko metsikköä. PNet-IIS mallissa syötetietoina olivat maaperäkartta, kuukauden suurimman ja pienimmän lämpötilan keskiarvot kyseisenä vuonna, sadanta ja suhteellinen kosteus.

Tutkimuksessa vertailtiin estimoitua ja mitattua nettotuottoa sekä yksittäisinä vuosina sekä useamman vuoden keskiarvona. Korrelaatiota oli havaittavissa sekä yksittäisinä vuosina, että useamman vuoden keskiarvona. Yksittäisen vuosien vertailussa suoran sovitustaste oli 0,3 ja useamman vuoden keskiarvojen vertailussa 0,66. Suurimmat erot olivat havaittavissa ei niinkään vuosien välillä vaan koelajojen välillä. Kuivakausi, joka osui tutkimuksen käsittävään ajanjaksoon, ei vaikuttanut nettotuottoon. Syytä tähän lienee, se, että ajanjakso oli liian lyhyt.

Aluetason mallinnus

Aluetason mallinnuksessa koelana oli Yhdysvaltojen eteläosa ja estimoitavana parametrinä metsän nettotuotto. Lisäksi verrattiin PNet-IIS -mallin estimoimaa kuivumista estimoituun jokien virtaamaan vuosina 1951-1984. PNet-IIS-mallin syötetietoina olivat samat parametrit kuin ekosysteemitasolla. Tietolähteet kuitenkin vaihtelivat ja tietojen yleistystaste. Ilmastoparametrit keskiarvoistettiin resoluutioksi $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, joka vastaa maastoresoluutiota 50×70 km. Maastomittauksia ei ollut tasaisesti koko koalueelta. Vertailutietona käytettiin siten FIA-ohjelmassa kerättyjä tietoja. FIA-ohjelma on verrattavissa Suomen valtakunnan metsien inventointiin. Pysyviä koelajoja tutkimusalueella oli 21000 ja ne on mitattu 8-10 vuoden välein. Tietoja jouduttiin jalostamaan PNet-IIS-mallille sopiviksi.

Kuivuminen vuosina 1951-1984 oli nähtävissä PNet-IIS-mallin estimaatissa. Vertailussa mitattuihin hydrologisiin tietoihin suoran sovitustaste oli 0,64. Vuosittaista nettotuottoa oli vaikea verrata, koska maan alapuolisista osista (juuret) ei ole mittaustietoa ja koska FIA-ohjelmassa mittaukset toistettiin vain 8-10 vuoden välein. PNet-IIS-mallin estimaatti nettotuotolle vaihteli 2-18 t/ha/year. Mallin estimaatti oli lähes aina positiivinen lukuunottamatta joitakin kuumia kesäkuukausia. Georgian osavaltiossa estimaatti vastasi parhaiten mittauksia, suoran sovitustaste oli 0,74. Koska FIA-tietoja jouduttiin jalostamaan ja yleistämään, virhe saattaa olla joko PNet-IIS-mallin estimaatissa tai vertailuaineistossa.

Johtopäätökset

PNEt-IIS-malli estimoii hydrologiaa ja metsän tuottoa paremmin ekosysteemi- ja aluetasolla kuin kuviotasolla. Syynä tähän lienee tietojen yleistys ja keskiarvoistus pieniin mittakaavoihin.

Scaling Land Cover Heterogeneity for Global Atmosphere – Biosphere Models

Ruth S. DeFries, John R. Townshend and Sieste O. Los

Johdanto

Maanpinta koostuu eri maankäyttöluokista. Heterogenia voi olla suuri pienilläkin alueilla. Suurilla alueilla heterogenia korostuu, koska vaihtelevuutta lisää mm. maaston topografia, vesistöt ja ihmisen toiminnasta aiheutuvat muutokset. Kaukokartoitusaineistoissa, joissa resoluutio kymmeniä metrejä, kasvillisuuden heterogenia on havaittavissa. Näiden aineistojen käyttö globaaleissa malleissa, joissa käsiteltävät alueet ovat suuria, on ongelmallista suurien datamäärien takia. Tyypillisesti mallit käsittelevät kasvillisuutta alueina. Korkean resoluution aineistoja joudutaan skaalaamaan globaalien mallien käytettäväksi. Tässä artikkelissa pohditaan skaalauksen vaikutusta kasvillisuuden heterogeniaan aineistossa.

Kaukokartoitus ja maankäytön heterogenia

Kaukokartoitusinstrumentin kerralla kuvaaman alueen koko ja maastoresoluutio ovat sidoksissa toisiinsa. Matalan resoluution aineistoissa (mm. Landsat-kuvat ja AVHRR-kuvat) yksi kuva kattaa laajan alueen, kun taas 1000 metrin korkeudesta kuvatussa aineistossa resoluutio on korkea, mutta kuvattu alue pieni. Korkean resoluution aineistossa kasvillisuuden heterogenia on havaittavissa spektraalisena vaihteluna tai tekstuurissa. Näitä aineistoja tyypillisesti joko tulkitaan visuaalisesti tai tilastollisten mallien avulla ja yhdelle kuvalle kerrallaan. Matalan resoluution aineistoja on käytetty koko maapallon kasvillisuuden kartoitukseen. Monikanavainen koko maapallon käsittävä aineisto 8 km:n pikselikoolla on toistaiseksi resoluutioltaan hienoin.

AVHRR-aineiston resoluutio on 1,1 km ja sitä on käytetty kasvillisuuden tulkintaan seuraamalla kasvillisuuden muuttumista ja vaihtelua vuoden ajan. Kasvillisuusindeksi on laskettu alueelle neljänä eri vuodenaikana ja näitä arvoja on käytetty luokitteluun. Esim. Afrikasta on tuotettu kasvillisuuskartta tällä menetelmällä ja resoluutiolla $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Yleensä maankäyttöluokkien heterogenia on nähtävissä aineistossa, jonka resoluutio on hienompi kuin 1 km. Varianssin säilymistä aineistojen skaalauksessa on tutkittu. Tutkimuksissa todettiin, että Afrikan aineistossa varianssi kasvoi, kun resoluutiota huononnettiin 8 km:stä 256km:n.

Heterogenia ilmakehä-biosfäärimalleissa

Ilmakehä-biosfääri malleissa lasketaan energian ja massan vuorovaikutus ilmakehän ja maanpinnan kasvillisuuden välillä. Mallit käyttävät maankäyttöluokituksen aluejakoa. Maankäyttöluokituksen perusteella joka pikselille annetaan parametrejä, jotka kuvaavat kasvillisuuden merkittävyyttä mallissa. Näitä parametrejä ovat mm. albedo ja aerodynaminen karkeus. Globaaleita maankäyttöluokituksia on useita, esim. BATS-luokituksessa on 18 luokkaa, 13 ekosysteemiluokkaa ja 5 vetisyys luokkaa (jää, suo). Luokitus voidaan tuottaa kartoilta tai satelliittikuvista. Yleensä näin tuotettu aineisto joudutaan skaalaamaan mallille sopivaksi. Luokitus päätetään tällöin hallitsevan luokan mukaan. Tähän sisältyy seuraavia ongelmia:

- eri lähteistä saaduissa aineistoissa on käytössä eri luokitukset
- skaalauksen tuloksena saadussa aineistossa luokkien suhteet ovat virheelliset
- jos uusi luokka valitaan hallitsevan luokan mukaan, tieto muusta kasvillisuudesta alueella menetetään

Ongelmat asettavat kaksi kysymystä:

- sisältyykö kasvillisuuden heterogeniaan joku ilmiö, jonka havaitseminen uudesta luokituksesta on mahdotonta?
- johtaako aineiston skaalaus mallin parametrien estimointivirheisiin?

Jotta heterogenia säilyisi uudessa luokituksessa yhden arvon sijasta voidaan käyttää luokan todennäköisyysfunktioita. Menetelmää on kokeiltu menestyksekkäästi. Aineiston skaalauksen vaikutusta mallin parametrien estimointivirheisiin tutkittiin kokeella.

Skaalaus ja parametrit - koetyö

Skaalauksen vaikutusta SiB2-biosfräärimalliin tutkittiin Afrikan mantereen käsittävällä aineistolla. Syötetietona oli maankäyttöluokitus sekä kasvillisuusindeksiluokitus. SiB3-malli syötetiedoista laskemat parametrit ovat: FPAR (fraction photosynthetically active radiation), LAI (latvuspeittoprosentti), SRL (surface roughness length). Näistä parametreista malli estimoivat arvot hiilen yhteyttämiselle, lämmön vuolle ja kosteudelle. Tulosaineiston resoluutio oli $1^\circ \times 1^\circ$.

Koetyössä parametrit laskettiin kolmella tavalla. Ensimmäisenä käytettiin keskiarvoistettua kasvillisuusindeksiä ja hallitseva luokka - maankäyttöluokituksista. Toisessa laskennassa käytettiin keskiarvoistettua kasvillisuusindeksiä ja 8 km resoluution maankäyttöluokituksista. Luokituksessa parametrit olivat summa eri maankäyttöluokkien antamista arvoista painotettuna luokan suhteellisella osuudella. Kolmannessa laskennassa maankäyttöluokkia käytettiin kuten toisessa laskennassa, mutta nyt myös kasvillisuusindeksi oli 8 km:n resoluutiolla. Tulosaineiston resoluutio oli siten 8 km. Tästä aineistosta muodostettiin $1^\circ \times 1^\circ$ resoluution aineisto keskiarvoistamalla. Edelleen, tulosaineistoa käytettiin syötetietona toiselle kierrokselle, jossa $1^\circ \times 1^\circ$ syöteaineistosta tuotettiin $4^\circ \times 5^\circ$ resoluution tulokset.

Tulokset

Tulosparametrien arvoja vertailtiin toisiinsa. Ensimmäinen laskenta edusti yksinkertaisinta ja karkeinta estimointia parametreille. Kolmannessa taas aineistoa hyödynnettiin hienommassa mittakaavassa, ennenkuin tulokset yleistettiin $1^\circ \times 1^\circ$ resoluutioon. Kuten odotettavissa oli, kolmannen menetelmän parametrit olivat tarkempia kuin ensimmäisen menetelmän. Toisella menetelmällä lasketut parametrit olivat lähempänä kolmannen menetelmän antamia tuloksia kuin ensimmäisen menetelmän antamia tuloksia. Parametrien FPAR ja LAI -kohdalla erot eivät kuitenkaan olleet suuria, n. 1-2 %. SRL-parametrien erot olivat suurempia, noin 4 %.

Johtopäätöksiä

Laskentamenetelmän muuttaminen tarkensi parametriestimaatteja vain vähän. Mahdollisia syitä ovat:

- Afrikan mantereella kasvillisuuden heterogenian esiintyminen lyhyemmällä matkalla kuin 8 km.
- Satelliittiaineisto ei alueperinkään kuvannut heterogeniaa
- Skaalaus tehtiin siten että se ei vaikuttanut heterogeniaan.

Lisätutkimuksia muilta alueilta tarvittaisiin tulosten vahvistamiseksi.

Luku 12:

Quadtrees: Hierarchical Multiresolution Data Structure for Analysing of Digital Images

Ferenc Csillag

Johdanto

Suorakaiteenmuotoinen pikseli on yleinen kuvaesityksen yksikkö. Yksi pikseli vie muistia $p > 1$ bittiä ja sen paras ominaisuus on yksinkertaisuus. Monimutkaisemman kuvaesitysmuodon käyttöön on kuitenkin useita syitä. Näitä ovat tallennuksessa vaaditun muistin määrä, tehokkaampi prosessointi sekä kuvan tulkinta. Hierarkisia kuvan tallennusmuotoja ovat mm. kuvapyramidit ja nelipuut.

Kuvapyramidi muodostetaan rekursiivisella kaavalla, jossa edellinen taso on aina syötteenä seuraavalle tasolle. Jokaisella askeleella resoluutio huononee. Pyramidin karkeinta tasoa kutsutaan juureksi ja loppuun viedyllä pyramidilla siinä on vain yksi pikseli. Jos kuvaesityksessä on mukana kaikki pyramiditasot, esitystä kutsutaan moniresoluutioesitykseksi.

Pyramidi voidaan esittää puuna, jossa juuresta lähtee oksat, jotka edustavat pyramidin seuraava tasoa ollen itse solmuina sitä seuraavan tason lehdille. Jos lehtiä on aina neljä solmua kohden, puuta kutsutaan nelipuuksi. Menetelmiä, joilla pyramidin tasot voidaan muodostaa, on useita. Yksi menetelmä, ts. funktio, on laskea keskiarvo edellisen tason alkioista. Toisaalta menetelmä voi olla sääntöpohjainen, esim. solmu merkitään mustaksi, jos joku sen lehdistä on musta. Muuten solmu merkitään valkoiseksi. Tasojen muodostuksen jälkeen lopullista esitystä voidaan tiivistää. Tämä tapahtuu siten, että juurisolmusta edetään pohjasta pintaan (juuresta hienoimman resoluution tasolle). Jos vastassa on valkoinen solmu tarkoittaa se, että kaikki sen oksan lehdet (pikselit) ovat valkoisia. Tällöin niitä ei tarvitse tallentaa erikseen, koska lisäinformaatiota ei saavuteta etenemällä kerroksia ylöspäin.

Nelipuun yksi ominaisuus on tasovarianssi. Tällä tarkoitetaan uuden tason pikselin ja sen muodostukseen käytettyjen pikseleiden arvojen vaihtelua. Vaihtelu voidaan mitata esim. jäännösvirheiden neliöiden summana, SSQ-arvolla tai jollakin muulla varianssimitalla. Jos SSQ-arvot ovat talletettuina puun muodostuksen yhteydessä, algoritmit voivat hyödyntää niitä laskennassa. SSQ-arvojen perusteella voidaan ratkaista, kannattaako oksa purkaa algoritmin laskentaa varten. Jos SSQ-arvo on pieni, on myös seuraavien tasojen antama informaatiolisä pieni, eli oksa voidaan jättää purkamatta. Toisaalta SSQ-arvoja voidaan hyödyntää myös purkamisjärjestyksessä; se solmu, jonka SSQ-arvo on korkein kannattaa purkaa ensimmäisenä.

Hierarkinen varianssi

SSQ-arvojen tulkinta ei anna käsitystä heterogeenisuuden paikallisista jakautuneisuudesta. Jakautuneisuuden analysointiin voidaan käyttää kuvan HQ-esitystä, joka vastaa moniresoluutio-menetelmää. Esitys perustuu kuvan pikselin arvon laskemiseen kantavektoreiden lineaarikombinaationa. Jos kuva on esim. 8×8 pikselin kokoinen, tasoja on 4 ja kantavektoreita 64. Kantavektoreiden kertoimet ovat Haar-kertoimet. Kertoimista voidaan johtaa alueelliset keskiarvot. Esitys tuottaa nelipuun, jossa on laskettuna tasojen keskiarvot ja varianssiin perustuva hajonta. Nimi HQ-viittaa nelipuun (quadtree) Haar-esitykseen.

Toinen Haar-kertoimiin liittyvä mielenkiintoinen sovellus on varianssin analyysi (nested analysis of variance), ANOVA. AVOVA:lla voidaan arvioida varianssia kaikilla kuvaesityksen tasoilla. Pikseleiden arvoja verrataan puun tasoilla, toisin kun esim. semivariogrammia muodostettaessa, jossa pikseleitä verrataan tiettyjen etäisyyksien päässä.

Kaukokartoitusaineistojen analysointi nelipuilla

Nelipuita on tyypillisesti käytetty kaukokartoituksessa kuvien esikäsittelyssä, kuten segmentoinnissa tai tiivistyksessä tulevien työvaiheiden avuksi. Prosessin tehokkuutta on mitattu mm. tiivistyssuhteella. Resoluution ja tarkkuuden suhdetta voidaan kuvata epävarmuusperiaatteeksi (uncertainty principle) ja sitä voidaan mallintaa kaavalla: $\Delta p(x) \cdot \Delta s(x) = K(y)$, missä p on tarkkuus ja s resoluutio kohdalla x . Jos resoluutio koko kuvalla on sama, tarkkuus eri kohdissa vaihtelee. Jotta tarkkuus olisi vakio koko kuvalla, resoluution tulisi vaihdella.

Moniresoluution käyttö näytteistyksessä

Kaukokartoitusaineistoja käytetään apuna maastoaineistojen keräämisen suunnittelussa. Näytteiden otto perustuu sovellusalan tuntemiseen ja/tai tilastoihin. Näytteistys on onnistunut, jos näytteet kuvaavat ilmiötä ja niitä on otettu taloudellisesti. Yleensä näyteenottoaika pyritään sijoittamaan siten, että osa näytteistä on keskellä alueita (kuvaavat puhtaasti aluetta) ja osa alueiden reunoilla, jossa esiintyy alueluokkien epävarmuutta. Alueilla, jossa vaihtelua ei tapahdu, näytteidenottovälin ei tarvitse olla pieni, ts. karkea resoluutio riittää. Tutkimuksissa on huomattu, että jäännösvirheiden heterogenia on samankaltainen koko kuvan alueella kun kuva uudelleennäytteistetään siten, että resoluutio vaihtelee eri kuvan alueilla. Esimerkkinä tutkimuksessa oli suolalle altistuneen ruohoalueen kartoitus SPOT-kuvilta. Kuvasta muodostettiin perinteinen pyramidi, jossa yhdellä tasolla resoluutio oli vakio. Toisaalta muodostettiin kuvat, joissa oli sama määrä pikseleitä kuin perinteisen pyramidin tasoilla oli, mutta resoluutio vaihteli. Kuvien heterogenia laskettiin kolmella ja tasolla ja verrattiin toisiinsa. Tulos tuki hypoteesiä.

Kaukokartoitusaineiston ja kartoitettavan parametrin suhde voi sisältää kohinaa. Kohinan mallinnuksella voidaan ohjata näytteistystä. Tällöin näytteistä rekonstruoidussa kuvassa kohinan vaikutusta voidaan pienentää. Aiheesta tehdyissä tutkimuksissa huomattiin, kuinka tärkeitä on määrittellä, mitä aineiston 'sopivuus, ts. hyvyys' kartoituksessa merkitsee. HQ-hajoitelman tapauksessa se tarkoittaa:

- Pyrkimystä minimoida eroa näytteistetyn ja alkuperäisen kuvan välillä arvioimalla paikallista varianssia
- Pyrkimystä yhdistää tarkkuus ja taloudellisuus

HQ-esitysmuoto simulaatiossa ja mallinnuksessa

Monissa ympäristömalleissa kyse on pisteestä leviävästä ilmiöstä, (esim. valumamalli) joita alueella voi olla useita. HQ-esitys sopii mm. tähän mallinnukseen. Koetyössä tehtiin malli järvien valuma-alueista ja verrattiin sitä Vornoi-polygoneilla luotuun malliin. HQ-mallissa jäännösvirheet olivat pienempiä.

Simuloinnissa pyritään luomaan mahdollisimman tarkasti todellisuutta vastaava kuva jollain tunnetulla prosessilla. Kuva voidaan luoda mm. käyttämällä useita tasaisesti sijoitettuja Gaussin funktiota (valkoinen kohina). Jos kohteesta on jotain tietoa, malliin lisätään rajoiteyhtälöitä, esim. joku tunnettu arvo jollakin tietyllä kohdalla. Lisätieto voi liittyä myös varianssiin ja sen jakaumaan.

Tällöin HQ-esitysmuoto kuvalle on hyvä valinta. Haar-kertoimet ovat nollakeskiarvoisia Gaussin muuttujia, ja niiden varianssit ja hajonnat lasketaan jostain tunnetusta aineistosta.

Tiivistelmä

Nelipuu on tehokas kuvan esitysmuoto. Kaukokartoituksessa nelipuita on käytetty vuosikymmeniä ja yleensä tutkimus keskittyy nelipuiden luonnissa käytetyn algoritmin hiontaan. Näissä tutkimuksissa on käytetty vakioresoluutiota yhdellä tasolla. Epävarmuusperiaatteen tuominen kartografiaan on kiinnittänyt huomion muuttuvan resoluution käyttöön. Optimaalisen resoluution etsimisessä Haar-kertoimiin perustuva esitysmuoto on tehokas. Yhdistettynä nelipuutekniikkaan puhutaan HQ-hajotelmasta. Hajotelmassa pyritään minimoimaan näytteistetyn ja alkuperäisen kuvan ero tasaisesti koko alueella, ts jäännösvirheet ovat tasaisesti jakautuneet.

Teoreettinen ja vaikea artikkeli! Ilman kuvaesimerkkejä vaikea selittää.