

Maankäytön luokittelu SAR-interferometrialla

Johdanto

SAR-interferometria (INSAR) on tärkeä tekniikka tuotettaessa kohteen korkeusmallia automaattisesti. Lisäksi SAR-kuvilta voidaan havaita kohteessa tapahtunut pienikin liike ja muodostaa kohteen deformaatiokartta. Samoja kuvia voidaan käyttää myös maanpeitteen luokitteluun ja erilaisten piirteiden irrottamiseen.

Usein SAR-kuvilta tehtävä luokittelu perustuu vain takaisinsironnan voimakkuuteen ja luokittelu suoritetaan eri aallonpituuksia ja polarisaatioita käyttäen. Yhden instrumentin aineistoa käytettäessä SAR-interferometriaa ja sen tarjoamaa koherenssi-informaatiota voidaan käyttää hyväksi luokittelussa. Interferometrisen korrelaation (kohrenssein) tarjoama lisäinformaatio parantaa olennaisesti mahdollisuuksia käyttää SAR-aineistoja maankäytön luokitteluun ja kohteen geo- ja biofysikaalisten parametrien hankkimiseen (Wegmüller et al., 1997).

SAR-interferometriaa voidaan käyttää roudan tarkkailuun, maaperän kosteuden mittaukseen, maankäytön luokitteluun, metsien kartoitukseen, metsätyyppien erotteluun sekä kasvillisuuden tiheyden ja eroosion kartoitukseen (Wegmüller et al., 1996). Maataloudessa tärkeitä sovelluskohteita ovat viljalajien tunnistus, viljan tiheyden arviointi, viljan kasvun seuranta ja pellon tilan seuranta (Borgeaud & Wegmüller, 1996). Lisäksi Tokunaga & Vu (2002) ovat löytäneet riippuvuuden interferometrisen koherenssin ja NDVI-kasvillisuusindeksin välillä wavelet-analyysin avulla.

Tässä seminaarissa tarkoituksena on esittää miten interferometrisia SAR-aineistoja voidaan käyttää hyväksi maankäytön luokittelussa. Ensin käsitellään SAR-kuvien interferometrista prosessointia. Sen jälkeen esitellään maankäytönluokittelussa käytettäviä piirteitä ja algoritmeja. Lopuksi muutamia esimerkkejä INSAR:n käytöstä maankäytön luokittelussa.

Kuvien prosessoinnista

Perinteisesti maankäytön luokittelua on tehty erilaisilta optisilta satelliittikuva-aineistoilta. Niillä voidaan päästä hyviin tuloksiin, mutta optisten kuvien saatavuus voi olla ongelma, jos sääolosuhteet alueella ovat huonot. Koska synteettisen apertuurin tutka, SAR, on mikroaaltoalueen sensori, välttyään monilta aineiston keräykseen liittyviltä ongelmilta. Mikroaallot tunkeutuvat pilvien ja savun läpi ja kuvaus voidaan suorittaa myös yöllä. Mikroaaltojen tunkeutumiskyvyn ansiosta voidaan saada tietoa myös maan pintakerroksen alta. Lisäksi mikroaallot reagoivat omalla tavallaan kohteen kanssa (kohtauskulmasta, aallonpituudesta ja polarisaatiosta riippuen) ja näin voidaan saada uudenlaista informaatiota kohteesta.

SAR-tutka pystyy mittaamaan kohteesta takaisin sironneesta signaalista sekä vaiheen että amplitudin. SAR-interferometriassa kaksi hieman eri paikoista otettua saman alueen käsittävää kompleksista SAR-kuvaa yhdistetään toisiinsa. Kompleksista SAR-aineistoa saadaan säännöllisesti ERS-, ENVISAT-, JERS- ja Radarsat-satelliiteista. Kuvauksia suoritetaan myös avaruussukkulasta (esim. SIR-C/X-SAR), ja tarkempia aineistoja voidaan saada lentokoneesta käsin tehtävillä SAR-mittauksilla.

Radiometrinen kalibrointi antennin suuntakuviolle ja slant range -etäisyydelle (range spreading loss) suoritetaan aineiston prosessoinnin yhteydessä aineiston toimittajan puolesta. Samalla

raakadata muutetaan sirontakertoimen arvoiksi, minkä jälkeen kuvien intensiteetti-
arvot ovat vertailukelpoisia.

Ensimmäisessä vaiheessa kaksi SAR SLC (single look complex) -kuvaa sovitetaan yhteen osapikselin tarkkuudella. Samalla suoritetaan yhteisen kaistan (common band) suodatus atsimuutti- ja etäisyys suunnan spektreille. Tämän tarkoituksena on ottaa mukaan vain ne spektrin osat, jotka ovat yhteisiä kahdella tarkasteltavalla kuvalla. Tällöin saadaan optimoituja interferometrisen korrelaatio ja minimoitua kuvausgeometrian (kantavektorin) vaikutus koherenssin suuruuteen. Interferogrammi eli vaihe-erokuva muodostetaan kahden kompleksisen SAR-kuvan kompleksikorrelaationa. Sen jälkeen ennustettu tasaisen maan vaihe poistetaan interferogrammilta. (Martinez et al., 1998; Borgeaud & Wegmüller, 1996)

Interferogrammilta ja yhteensovitetuilta intensiteettikuvilta voidaan laskea interferometrisen korrelaatio ja takaisinsironnan voimakkuus. Estimoinnissa on tärkeää käyttää riittävän suurta määrää vilkaisuja (looks) häilynnän vähentämiseksi ja harhaisen korrelaatioestimaatin välttämiseksi alhaisen koherenssin alueilla. Jotta maanpinnan erotuskyvyn ja estimaattorin tarkkuuden välinen suhde saadaan optimoitu, on hyvä käyttää estimaattoreita adaptiivisella ikkunakoolla. Monimutkaista vaiheenpurkua ei tarvitse suorittaa takaisinsironnan voimakkuuden ja koherenssin arvioinnissa. (Borgeaud & Wegmüller, 1996)

Maankäytön luokittelussa käytettäviä piirteitä

Koherenssi

Interferometrisen koherenssi on kahden SAR-kuvan välinen kompleksikorrelaatio. Koherenssi kuvaa vaihekohinan määrää interferogrammilla. Sen suuruus riippuu sensorista (aallonpituus, systeemikohina ja kuvan resoluutio), kuvausgeometriasta (kantavektorin pituus ja paikallinen kohtauskulma) ja kohteesta. Tilavuussironta (tilavuusdekorrelaatio) ja sirottajien satunnainen liike tai muuttuminen ajan kuluessa (temporaalinen dekorrelaatio) vähentävät koherenssia. Kuvaussysteemin ja –geometrian vaikutuksia voidaan kontrolloida pitämällä kantavektori riittävän lyhyenä ja tulokulma riittävän pienenä. Tämän johdosta koherenssin riippuvuutta kohdeparametreista voidaan käyttää kohteen ominaisuuksien mittaamiseen. (Strozzi et al, 2000) Koska kaikki kuvaussysteemistä johtuva dekorrelaatio on hyvin pientä tai se voidaan poistaa, havaittu dekorrelaatio riippuu vain kohdeparametreista.

Kahden kuvan (Z_1, Z_2) välinen koherenssi (Engdahl & Borgeaud, 1998)

$$\gamma = \frac{|E[Z_1 Z_2^*]|}{\sqrt{E[|Z_1|^2] E[|Z_2|^2]}}$$

Edellisen yhtälön odotusarvo-operaattoria $E[\]$ approksimoidaan yleensä näytteistetyllä keskiarvolla (sampled average):

$$\gamma = \frac{\left| \sum_n Z_1 Z_2^* \right|}{\sqrt{\sum_n |Z_1|^2 \sum_n |Z_2|^2}}$$

missä n on koherenssin estimointiin käytettyjen riippumattomien näytteiden lukumäärä.

Koherenssin keskihajonta

$$\sigma_\gamma = \frac{1 - \gamma^2}{\sqrt{2n}}$$

Eli luotettavan estimaatin saamiseksi alhaisen koherenssin alueille on käytettävä suurta määrää riippumattomia näytteitä (Engdahl & Borgeud, 1998). Yleensä koherenssi estimoidaan ikkunassa. Mitä matalampi koherenssi on, sitä suurempaa ikkunaa tulisi käyttää luotettavan tuloksen saamiseksi. Havainnoille voidaan käyttää myös painoja, jotka pienenevät etäisyyden kasvaessa. (Strozzi et al, 2000)

Koherenssi saa arvoja välillä 0 (täydellinen dekorrelaatio) ja 1 (täydellinen koherenssi). Kaiut korreloivat, jos ne edustavat lähes samaa vuorovaikutusta sirottajajoukon kanssa eli jos havaitut häilyntäkuviot ovat samanlaisia.

Interferometrinen koherenssi ei ole kovin herkkä pinnan karkeudelle ellei karkeus muutu kuvienoton välillä. Koherenssi on myös vähemmän herkkä maanperän kosteuden muutoksille kuin takaisinsironnan intensiteetti. Siksi sen avulla on helpompi arvioida viljan ominaisuuksia. (Engdahl et al., 2001)

Tulkinnan kannalta on huomioitava kuvanottoväli ja kuvauskannan pituus. Koherenssimittauksista muodostettua aikasarjaa kutsutaan koherenssin signatuuriksi (coherence signature).

Tandem-parien (lyhyen ajanjakson interferogrammien) koherenssi

ERS ½ -tandemparien kuvat on otettu 24 tunnin välein. Vedellä ja metsällä on usein hyvin alhainen koherenssi, koska sirottajien keskinäinen asema muuttuu koko ajan. Kaupunkialueilla ja pelloilla tandemparien koherenssi on keskinkertainen tai korkea. Kasvillisuuden tiheys voidaan saada tutkimalla koherenssin suuruutta. Mitä alhaisempi koherenssi on, sitä tiheämpää kasvillisuus on. (Strozzi et al, 2000)

Useiden tandem-parien koherenssiaineisto voidaan keskiarvoistaa. Tämä vähentää ilmakehän aiheuttamien häiriöiden/virheiden vaikutusta. (Strozzi et al, 2000)

Koherenssi pitkän ajanjakson interferogrammilla

Pitkän ajanjakson interferogrammeilla tarkoitetaan pareja, joiden kuvanottoväli on suurempi kuin 35 päivää. Näin pitkällä ajanjaksoilla vain hyvin stabiilit, pysyvät sirottajat, antavat 0.3:a suuremman koherenssin arvon. Yleensä vain rakennukset ja rakennetut kaupunkialueet ovat tällaisia

sirottajia ja pitkän ajanjakson käsittävää koherenssikuvaa voidaankin käyttää kaupunkialueiden kartoittamiseen. (Strozzi et al, 2000)

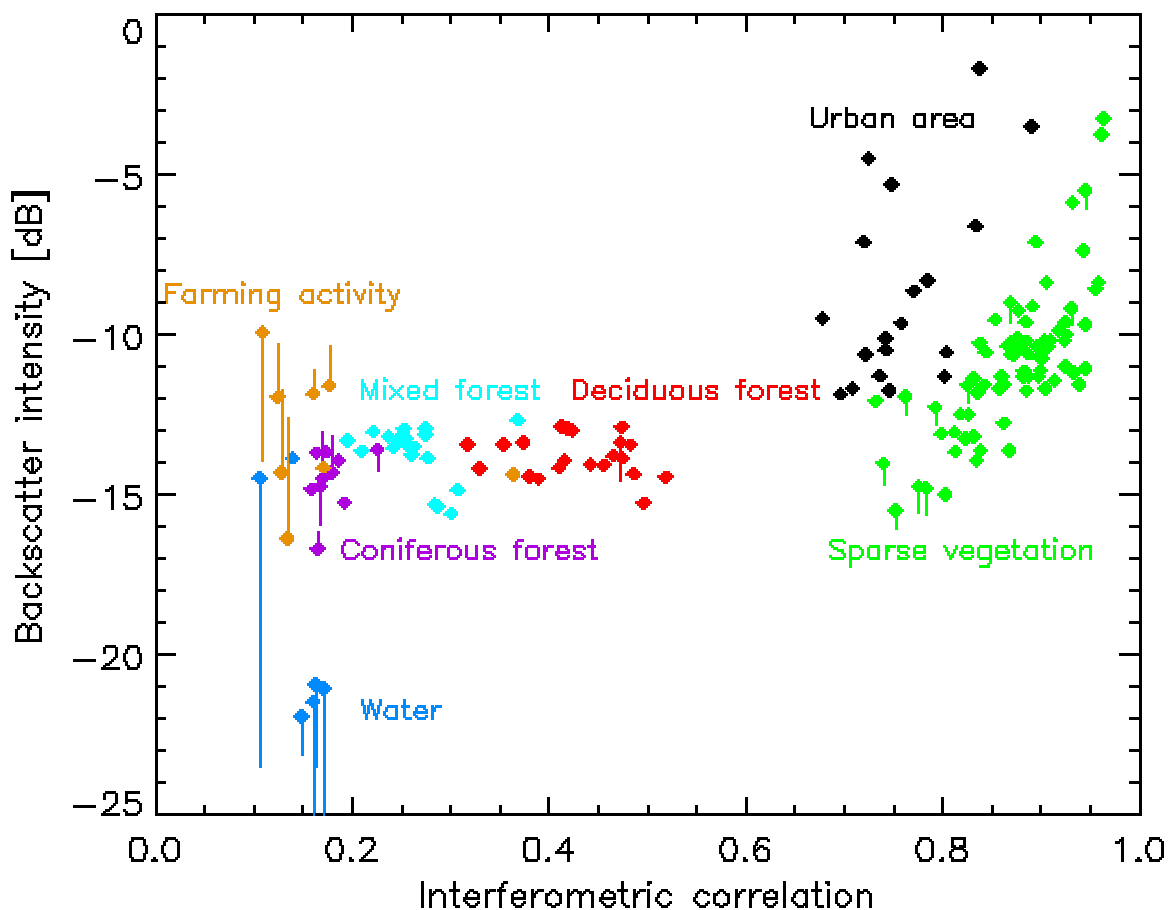
Kuvassa 6 on esitetty eri kanavilla eri ajanjaksojen koherenssi.

Takaisinsironnan voimakkuus

Takaisinsironnan voimakkuus näkyy SAR-intensiteettikuvilla. Mitä voimakkaampaa takaisinsironta on, sitä kirkkaampi pikseli on. Takaisinsironta on normalisoitava todelliseen pikselikokoon kaltevilla pinnoilla (rinteissä) korkeusmallin avulla. Häilynnän vähentämiseksi ja takaisinsironnan mittaamiseksi pikselitasolla kuva on hyvä alipäästösuodattaa. Lisäksi kaikista käsiteltävistä kuvista voidaan laskea ajallinen keskiarvo jokaiselle pikselille. (Strozzi et al, 2000)

Vedellä takaisironta on usein heikkoa (tyyni vesi), ja vesi näkyy kuvilla tummana. Kaupunkialueilta ja layover-vyöhykkeiltä saadaan voimakas takaisinsironta. Peltojen ja metsien erottaminen takaisinsironnan voimakkuuden perusteella on vaikeaa. (Strozzi et al, 2000)

Koherenssin ja takaisinsironnan arvoja erilaisille maanpeiteluokille on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Takaisinsirontakertoimen muuttuminen koherenssin funktiona erilaisille maanpeitteille (Borgeaud & Wegmüller, 1996)



Kuva 2. ERS-1/2 -tandemkuvapari esitettynä RGB-kuvana: koherenssi (punainen), amplitudi (vihreä), muutos (sininen). (Stussi et al., 1996)

Takaisinsironnan muuttuminen (temporal variability)

Takaisinsironnan ajallinen muuttuminen lasketaan takaisinsironnan voimakkuuden ajallisen keskihajonnan ja keskiarvon suhteena. Häilynnän vähentämiseksi kuville on suoritettava spatiaalinen keskiarvoistus, jossa voidaan käyttää painotusta.

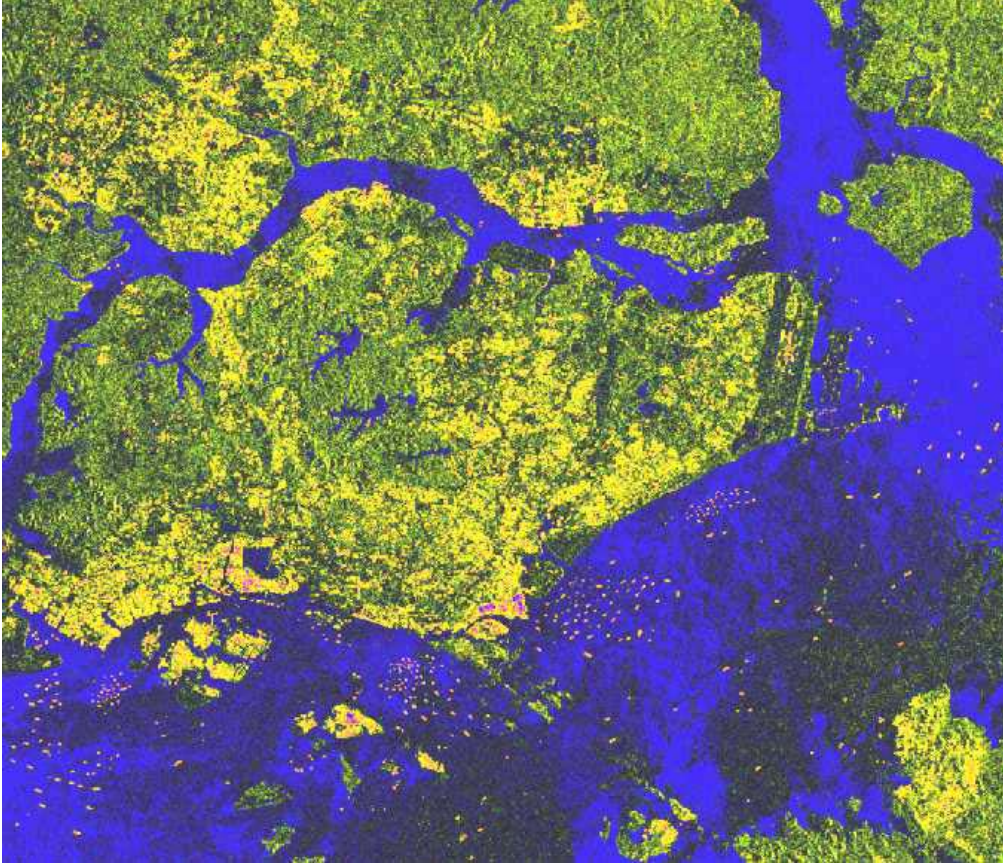
Maankäyttöluokista suurin takaisinsironnan temporaalinen vaihtelevuus on vedellä, koska tuulet muuttavat veden pintaa. Temporaalisen vaihtelevuuden avulla pellot voidaan osittain erottaa metsästä, koska peltojen takaisinsironnan voimakkuus muuttuu hieman vuoden mittaan viljan kasvamisesta, viljelystoimista ja maan kosteuden muuttumisesta johtuen. Metsän takaisinsironnan voimakkuus puolestaan on hyvin stabiili. (Strozzi et al, 2000)

Kuvassa 2 on esitetty ERS-1/2 tandemkuvapari kolmikerroskuvana: koherenssi, amplitudi ja takaisinsironnan muutos.

Takaisinsironnan tekstuuri

Tekstuuri voidaan laskea esimerkiksi kiinteän kokoisessa ikkunassa paikallisen keskihajonnan ja keskiarvon suhteena. Erittäin voimakkaat yksittäiset sirottajat saattavat aiheuttaa voimakkaan tekstuurin ikkunan alueelle. Tätä voidaan korjata suorittamalla tekstuurin irrotuksen jälkeen keskiarvosuodatus suuremmalla ikkunalla. Kaupunkialueilla ja layover-vyöhykkeillä on voimakas tekstuuri. (Strozzi et al, 2000)

Usein tekstuurimitat lasketaan ko-okkurenssimatriisin avulla, jolloin myös tekstuurin suuntautuneisuus otetaan huomioon. Ko-okkurenssimatriisin alkio $[i,j]$ kertoo montako kertaa harmaasävyt i ja j esiintyvät tietyllä etäisyydellä ja suunnalla toisistaan. Matriisista voidaan edelleen laskea erilaisia tekstuurimittoja: energia, entropia, kontrasti, käänneinen differenssi-momentti, korrelaatio jne. Kuvassa 3 on esitetty kolmeen tekstuurimitaan perustuva kuva maanpeitteestä.



Kuva 3. RGB-kuva Singaporesta, joka on muodostettu kolmesta tekstuurimitasta: kontrasti (punainen), entropia (vihreä) ja käänneinen differenssi-momentti (sininen). Rakennetut alueet näkyvät keltaisena, metsät vaalean vihreinä ja vesi sinisenä. Tasaiset rannikkoalueet näkyvät tumman vihreinä kuvalla. Eri sävyt merialueella vastaavat erilaisia meren pinnan ominaisuuksia. (Liew, www-3.5.2003)

Korkeus ja kaltevuus

SAR-interferometriaa voidaan käyttää myös korkeusmallin muodostamiseen. Interferometrinen vaihe (kahden kuva vaihe-ero) on suoraan verrannollinen antennien ja maanpinnan pisteen välisien etäisyyksien eroon. Kun satelliitin rata on tunnettu, voidaan vaihetietoa käyttäen muodostaa maaston korkeusmalli. Korkeustietoa ja siitä laskettua maanpinnan kaltevuutta voidaan myös käyttää hyväksi luokittelussa. (Carande et al., 1998)

Muita sekundäärisiä piirteitä

Luokittelussa voidaan käyttää myös muita edellisistä piirteistä johdettuja piirteitä kuten intensiteetin keskiarvo ikkunassa, intensiteetin ja korkeuden keskihajonta ikkunassa, tietyn kynnsarvon (intensiteetti, korkeus) ylittävien pikselien lukumäärä ikkunassa, intensiteetti- ja korkeusgradientin keskiarvo ikkunassa jne. (Jaroszewski & Lefevre, 1998)

Vaihtoehtoja luokittelun suorittamiseksi

Ohjattu luokittelu kynnystämällä

Kynnystäminen on yksinkertainen ja laskennallisesti kevyt algoritmi. Se perustuu kuvien fysikaaliseen ymmärtämiseen. Visuaaliseen tarkasteluun tai valmiisiin maankäyttökarttoihin perustuen määritellään luokille opetusalueet. Opetusalueille lasketaan tunnusluvut, joista saadaan kullekin luokalle ominaiset piirteiden arvot. (Strozzi et al, 2000)

Kuvassa 4 on taulukoitu eräissä maankäytönluokittelussa käytetyt kynnysarvot.

Strozzi et al. (2000) on suorittanut itse luokittelun hierarkkisesti. Kaupunkialueet luokitellaan pitkällä ajanjaksolla korkean koherenssin perusteella. Vesi havaitaan alhaisen koherenssin, heikon takaisinsironnan ja takaisinsironnan suuren ajallisen vaihtelevuuden perusteella. Layover-alueet saadaan selville voimakkaan takaisinsironnan ja erittäin alhaisen koherenssin perusteella. Lopuksi metsäluokka muodostetaan alhaiseen koherenssiin, takaisinsironnan pieneen temporaaliseen vaihtelevuuteen ja keskikertaiseen takaisinsironnan intensiteettiin perustuen. Loput alueet luokiteltiin pelloksi.

land-use class	M_{\min}	M_{\max}	σ_{\min} [dB]	σ_{\max} [dB]	$\Delta\sigma_{\min}$ [dB]	$\Delta\sigma_{\max}$ [dB]	$text_{\min}$	$text_{\max}$
urban	0.3	1.0	-7.0	100.0	0.0	100.0	1.0	100.0
layover	0.0	0.3	-2.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
shadow	0.0	0.3	-100.0	-20.0	0.0	2.0	0.0	100.0
water	0.0	0.3	-100.0	-15.0	2.0	100.0	0.0	100.0
change	0.0	0.5	-100.0	100.0	2.0	100.0	0.0	100.0
sparse vegetation	0.5	1.0	-20.0	100.0	0.0	2.0	0.0	100.0
medium vegetation	0.3	0.5	-20.0	100.0	0.0	2.0	0.0	100.0
forest	0.0	0.3	-20.0	-2.0	0.0	2.0	0.0	100.0

Kuva 4. Eräissä maankäytön luokittelussa käytetyt kynnysarvot, kun piirteinä käytettiin interferometrasta korrelaatiota, takaisinsironnan voimakkuutta, takaisinsironnan voimakkuuden muutosta ja takaisinsironnan tekstuuria. Luokat olivat kaupunki, layover, varjo, vesi, muutos, harva kasvillisuus, puolitiheä kasvillisuus ja metsä. (Wegmüller & Werner, 1997)

Ohjattu suurimman uskottavuuden luokittelu (MLC)

SAR-aineiston luokitteluun voidaan käyttää myös suurimman uskottavuuden menetelmää. MLC perustuu siihen että aineisto on normaalijakautunut. Raaka SAR-data ei ole normaalijakautunut, mutta prosessoitu aineisto on lähellä sitä. Haluttujen luokkien statistiikat lasketaan opetuspolygoneista. (Strozzi et al, 2000; Martinez et al., 1998)

Ohjaamaton sumea segmentointi

Algoritmi käyttää hyväkseen kaikkia piirteitä ja yrittää löytää kynnysarvot eri luokille multidimensionaalista histogrammista minimoimalla tietyn tavoitefunktion arvon. Koska kaikille kuville annetaan tällöin yhtä suuret painot, päätettiin pitkän ajanjakson koherenssia käsitellä erikseen. Siitä saadut tulokset yhdistettiin jälkepäin muuhun ryhmittelyyn. Kaupunkialueiksi luokitellut alueet ovat lopullisessa luokittelussa kaupunkialueita vain jos pitkän ajanjakson interferogrammi tukee tätä. Kuvassa 5 on esitetty luokittelutulos Tuusulan testialueella sekä saman alueen maankäyttökartta. (Strozzi et al, 2000)

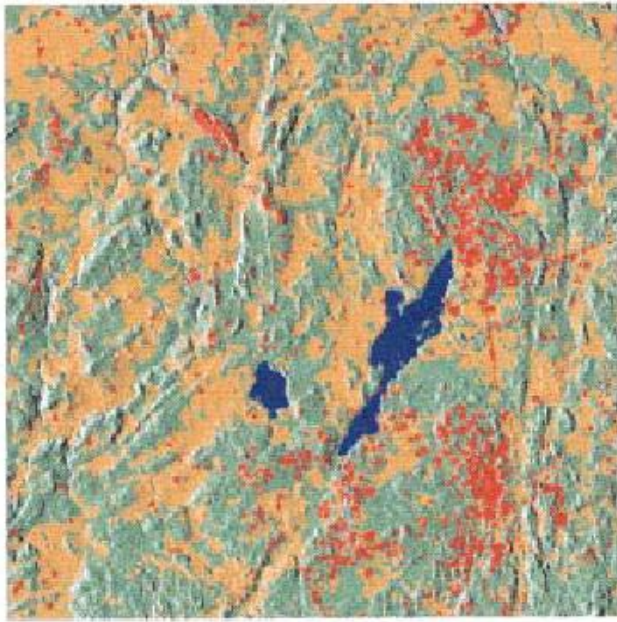


Fig. 9. Tuusula: landuse inventory resulting from the Fuzzy Clustering Segmentation (FCS) with averaged signatures. The map was combined with a shaded relief.

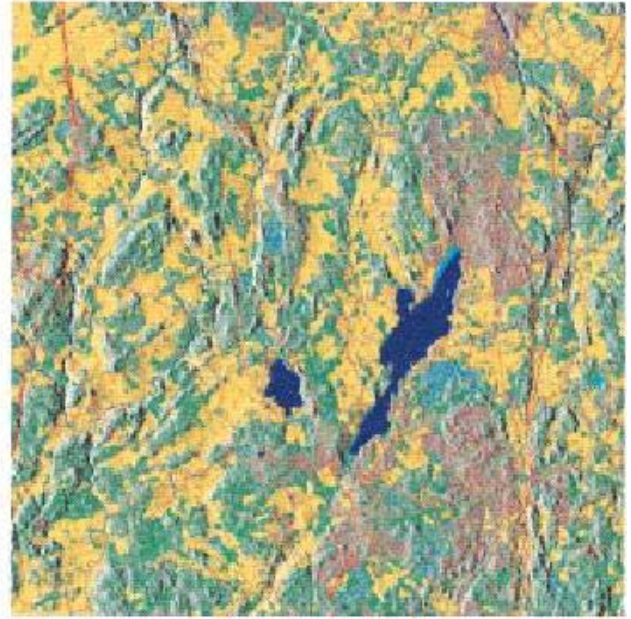


Fig. 10. Tuusula: landuse inventory of the Finnish National Land Survey. The map was combined with a shaded relief. The landuse inventory is from 1993 and has a resolution of 25 m.

CONFUSION MATRIX FOR TUUSULA, FUZZY CLUSTERING SEGMENTATION (FCS), SIX TANDEM PAIRS

MAP CLASS SAR CLASS / (AREA PERC.)	FOREST (48.3%)	FIELD (33.6%)	URBAN (15.2%)	WATER (2.9%)
FOREST	80.3	12.3	42.5	20.2
FIELD	13.4	84.6	24.1	14.0
URBAN	4.6	2.5	32.1	1.2
WATER	1.7	0.6	1.3	64.6
TOTAL CLASSIFICATION ACCURACY: 74.0%				

Kuva 5. Yllä luokittelutulos sumealla ryhmittelyllä Tuusulan testialueelta ja samalta alueelta oleva maankäyttökartta. Alla on luokittelun virhematriisi. (Strozzi et al., 2000)

Kolmivaiheinen luokittelu kartan tuottamiseksi (Jaroszewski & Lefevre, 1998):

Luokittelussa on kolme vaihetta: pienimittakaavainen luokittelu, segmentointi, tarkempi luokittelu.

- 1) Pieni mittakaavainen luokittelu suoritetaan intensiteetti- ja korkeuskuville. Piirteinä käytetään mm. intensiteetin keskiarvo ikkunassa, intensiteetin ja korkeuden keskihajonta ikkunassa, tietyn kynnsarvon (intensiteetti, korkeus) ylittävien pikselien lukumäärä ikkunassa, intensiteetti- ja korkeusgradientin keskiarvo ikkunassa. Alueille, joilla oli alhainen takaisinsirona, laskettiin lisäpiirteitä eri maankäyttöluokkien (vesi, varjot, kiitoradat, suot) erottamiseksi toisistaan. Luokittelu suoritettiin Bayesin luokittelijalla.

- 2) Segmentointia varten luokittelutulos moodisuodatettiin luokittelukohinan poistamiseksi. Sitten jokaisesta luokasta luotiin binäärikuva, joille voitiin suorittaa morfologisia operaatioita (dilaatio ja eroosio) yhtenäisempien alueiden luomiseksi. Tämän jälkeen suoritettiin itse segmentointi region-growing algoritmillä luokkien binäärikuville.
- 3) Lopullinen luokittelu tehtiin sääntöpohjaisen tulkinnan avulla. Siinä käytettiin suurimittakaavaisia piirteitä kuten segmentin pikselien lukumäärä, segmentin pituus ja leveys, naapuripikselien hallitseva ja toissijainen luokittelu ja naapuripikselien prosentiosuudet. Näin parannettiin luokittelutarkkuutta uudelleenluokittamalla todennäköisesti väärinluokitellut pikselit.

Esimerkissä luokittelu suoritettiin viiteen luokkaan: kaupunki, pelto, metsä, vesi ja varjo noin 400 km²:n alueella Kaliforniassa. Kuvaus oli suoritettu ERIM IFSARE X-alueen tutkalla. Keskimääräinen luokittelutarkkuus oli 86,8%.

Esimerkkejä

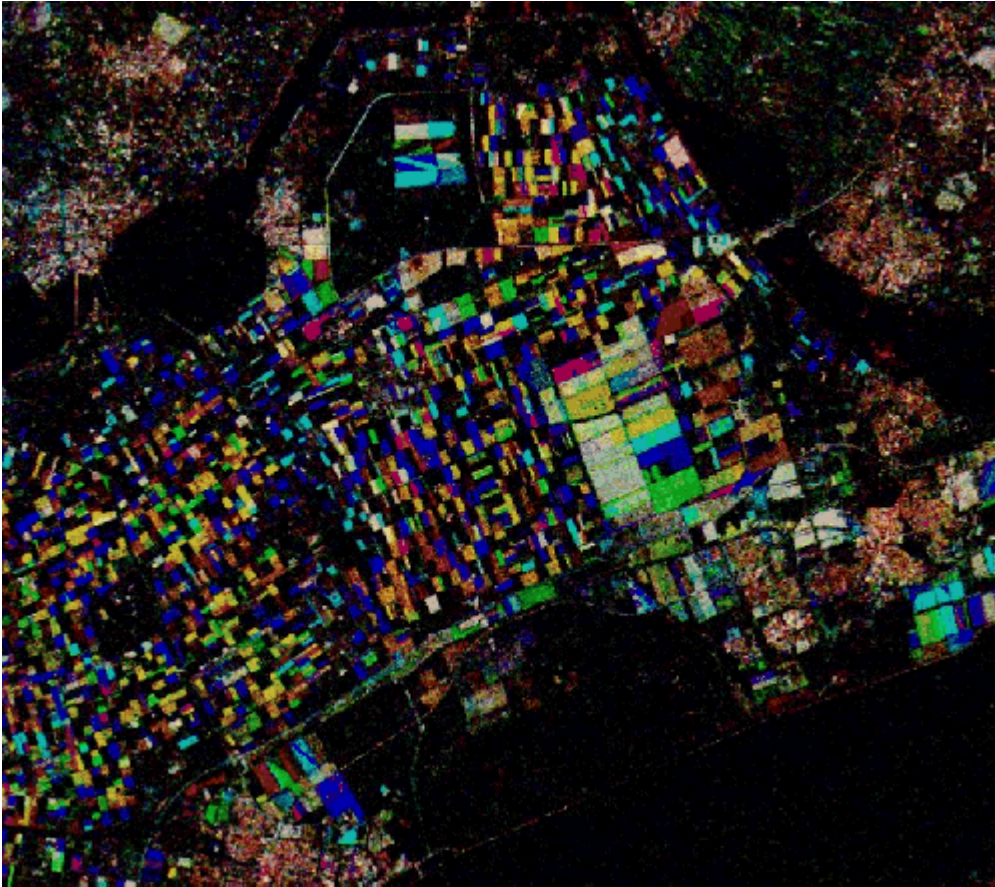
Kasvillisuusparametrien mittaaminen SAR-interferometrialla

Wegmüller & Werner (1997) ovat käyttäneet multitemporaalista SAR-aineistoa tutkiessaan repeat-pass-interferometrian mahdollisuuksia maanviljelytoiminnan, viljan kasvun ja maaperän kosteuden vaihtelujen seurantaan. Kuvassa 6 on multitemporaalinen korrelaatiokuva testialueelta.

Flevolandin testialueella havaittiin 6-21 päivän kuvanottovälillä alhainen korrelaatio maissilla, sokerijuurella, perunalla ja jopa ruoholla. Tästä voitiin päätellä että, näillä suhteellisen tiheälehvästöisillä viljoilla kasvillisuus hallitsee sirontaa. Kasvien kasvamisesta, liikkumisesta ja kuihtumisesta johtuen sirottajat liikkuvat sen verran (muutama cm riittää) että korrelaatio katoaa. Interferometrinen korrelaatio on keskinkertainen harvalle kasvillisuudelle kuten viljoille, jotka peittävät maanpinnan vain osittain, tai joiden biomassa on pieni (useat viljat kasvukauden alussa). Täydellinen dekkorrelaatio seuraa usein myös maanviljelytoimista kuten mekaanisesta maan muokkauksesta, sadon korjuusta, kyntämisestä tai niittämisestä. Nämä geometriset muutokset aiheuttavat alhaisen koherenssin lisäksi merkittävän muutoksen takaisinsironnan voimakkuudessa.

Joillakin viljalajeilla on hyvin luonteenomainen ajallinen kehitys, jonka perusteella viljalaji voidaan tunnistaa ja havaita muutosten ajankohdat. Näistä voidaan päätellä esimerkiksi, koska sadonkorjuu on tapahtunut.

Interferometrinen korrelaatio riippuu voimakkaasti maanpinnan peitteisyydestä (soil cover fraction). Samantapainen riippuvuus on havaittu myös viljan pituuden ja biomassan kanssa, eli kun vilja kasvaa, koherenssi pienenee. Testialueen rapsipelloilla voitiin seurata viljan kasvua.



Kuva 6. Multitemporaalinen korrelaatiokuva. Kuva sisältää koherenssin 19.9. - 4.10 punaisella, 4.10 - 19.10 vihreällä ja 19.10 - 9.11 sinisellä kanavalla. Peltojen väri vaihtelee kasvillisuuden ja tapahtuneiden viljelytoimintojen mukaan. (Borgeaud & Wegmüller, 1996)

Engdahl et al. (2001) on myös havainnut riippuvuuden interferometrisen koherenssin ja viljan pituuden välillä. Maastotieto viljan pituudesta oli toiselta vuodelta/kasvukaudelta. Kuvat olivat tandemmissiokaudelta 1995–1996. Seuratuilla pelloilla viljeltiin sokerijuurta, perunaa ja (syys)vehnää. Kasvukauden alkuvaiheessa viljan koherenssi vähenee lineaarisesti viljan kasvaessa/kypsyessä. Havaintoihin sovitettiin lineaariset mallit, jotka kuvaavat koherenssin ja viljan korkeuden suhdetta. Nämä mallit ovat voimassa vain kasvukauden alussa, kun kasvu on tasaista.

Maaperän kosteuden mittaamisesta

Kasvava takaisinsironnan voimakkuus merkitsee permittiivisyyden kasvua eli kosteuden lisääntymistä. Harvakasvustoissa pelloilla maaperän kosteus voidaan havaita SAR-kuvilta. (Wegmüller & Werner, 1997)

Moeremans & Dautrebande (2000) ovat havainneet että paljaalla maalla maan kosteuden vaihtelut aiheuttavat jonkin verran koherenssin muuttumista, mutta kasvillisuuden peittämällä maalla kosteutta ei voida havaita koherenssista. Sen sijaan sirontakertoimen ja kosteuden välillä on selvä lineaarinen yhteys.

Rakennusten ja teiden irrotus

Tieverkko voidaan havaita käyttämällä viiva- ja risteysmaskeja vierekkäisten pikselien, joilla on alhainen takaisinsironnan voimakkuus, etsimiseen. Opetusjoukkoon täytyy tällöin kuulua lineaarisia

piirteitä. Rakennuksien irrottamiseen tarvitaan paljaan maan estimaatti. Tämä vähennetään SAR-interferometrialla muodostetusta korkeusmallista, jolloin jäljelle jäävät mahdolliset rakennukset. Tuloksena saatavalle kuvalle on vielä käytettävä rakennuksille tyypillisiä ”opetuspaloja” luokittelun varmistamiseen. Metsiköt saattavat aiheuttaa ongelmia, joten esim. Landsat-kuvilta laskettua kasvillisuusindeksiä täytyy käyttää apuna. (Lefevre et al., 2000)

Kuvien lukumäärän vaikutus luokittelutulokseen

Martinez et al. (1998) on todennut, että yhdeltä tandem-parilta voidaan luokitella luotettavasti vain luokkiin metsä ja ei-metsä. Tarkkuus luokiteltaessa metsät yhdellä kesäkuukausien tandemparilla on suurempi kuin 90 %. Kahdella tandemparilla (yksi kesältä ja yksi talvelta) on mahdollista suorittaa luokittelu neljään luokkaan. Metsäluokka voidaan jakaa kahteen luokkaan: suuri biomassa (täysikasvuiset puut) ja pieni biomassa (harvat ja nuoret havupuut). Myös kaupunkialue voitiin erottaa omaksi luokakseen, jos sillä oli korkea koherenssi ja voimakas takaisinsironta. Kokonaistarkkuus oli noin 75 %.

Seuraamalla neljän tandemparin koherenssin ja intensiteetin muuttumista vuodenaikojen mukana voitiin suorittaa tarkempi luokittelu. Luokat olivat lehtimetsä, kuusi, muut täysikasvuiset havupuut, nuoret havupuut, nuori mustamänty, pensaikko, ruohikko, kaupunkialue ja vesi. Testialueella luokittelun kokonaistarkkuus oli 82 %, ja parhaiten luokittuivat havupuut. Luokittelusta jätettiin pois kaikista jyrkimmät rinteet, koska näiltä saatiin epäluotettavia koherenssarvoja.

SAR-aineistojen yhteiskäyttö

Stussi et al. (1997) on todennut, että C-kanavalla tehtävät mittaukset eivät ole kovin herkkiä biomassalle. L-kanava olisi sopivampi biomassan mittaukseen, joten ERS- ja JERS-1 aineistoja tulisi käyttää yhdessä.

Papathanassiou et al. (1996) on tutkinut eri mittaustaajuuksilla hankittujen aineistojen koherenssia erityyppisillä vulkaanisilla alueilla. Kuvat olivat SIR-C/X-SAR ja ERS-1/ERS-2 tandemkuvia. Ensin kuva luokiteltiin X-kanavan koherenssin perusteella neljään luokkaan. Näistä kaksi jaettiin edelleen kahdeksi luokaksi C- ja L-kanavan arvojen perusteella (kasvillisuus ja tuhka). Kaksi viimeistä luokkaa (laavapinnat) luokiteltiin kolmeksi luokaksi X- ja C-kanavien arvojen perusteella.

Yhteenveto

INSAR-tekniikan käytöstä maankäytön luokitteluun on tehty monia tutkimuksia kasvillisuudeltaan ja olosuhteiltaan erilaisilla alueilla (tropiikki, vuoristo) ja erilaisia aineistoja käyttäen. Karkea luokittelu muutamaan luokkaan onnistuu hyvin muutamalla SAR-kuvalla. Kattavaa luokittelua useisiin luokkiin ei pelkällä yhden instrumentin INSAR-aineistolla voida tehdä. Luotettavan maankäytön luokittelun saamiseksi luokittelussa on käytettävä kymmeniä kuvia, joista muodostetaan aikasarja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää erityyppisillä SAR-tutkilla (eri aallonpituus/ resoluutio/ mittauskulma/ polarisaatio) hankittuja aineistoja. Tarkkaa luokittelua tehtäessä kustannukset nousevat niin korkeiksi, että pelkkiin SAR-kuviin perustuva luokittelu ei ole kilpailukykyinen muiden menetelmien/aineistojen kanssa. Kuitenkin jopa yksikin SAR-kuvapari antaa hyvän tuen muiden satelliittiaineistojen kanssa suoritettavalle luokittelulle.

Lähdeluettelo

Borgeaud, Wegmüller. On the Use of ERS SAR Interferometry for the Retrieval of Geo- and Bio-Physical Information. Proceedings of ESA - Fringe'96, July 1996, Zürich. 1996.
<http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers/borgeaud-wegmuller/> (3.5.03)

Carande, Marra, Cronin, Nagy. Automated Mapping and Feature Extraction Using High Resolution Interferometric Synthetic Aperture Radar Data. IEEE 1998.

Engdahl, Borgeaud. ERS-1/2 Tandem Interferometric Coherence and Agricultural Crop Height, Proceedings of the Retrieval of Bio- and Geo-Physical Parameters from SAR Data for Land Applications Workshop, Noordwijk, The Netherlands 21-23 October 1998. <http://www.estec.esa.nl/conferences/98c07/papers/P017.PDF> (3.5.03)

Engdahl, Borgeaud, Rast. The Use of ERS-1/2 Tandem Interferometric Coherence in the Estimation of Agricultural Crop Heights. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 8. 2001.

Jaroszewski, Lefevre. Radar Remote Sensing: Land Cover Classification. Aerospace Conference, 1998. Proceedings., IEEE, Volume 3, 21-28 Mar 1998.

Lefevre, Jaroszewski, Pieramico, Corbeil, Fox, Jackson. Land Cover Classification from SAR/IFSAR Imagery. Radar Conference, 2000. The record of the IEEE 2000 International.

Liew. Texture of SAR Images.

<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/research/processing/texture/texture.html> (3.5.03)

Martinez, Beaudoin, Wegmüller, Strozzi. Classification of land-cover and forest types using multirate ERS tandem data acquired over hilly terrain. Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARSS '98. 1998. IEEE International , Volume: 4. 6-10 Jul 1998.

Moeremans, Dautrebande. Soil moisture evaluation by means of multi-temporal ERS SAR PRI images and interferometric coherence. Journal of Hydrology 234. 2000.

Papathanassiou, Reigber, Coltellì. On the Interferometric Coherence: A Multifrequency and Multitemporal Analysis. Fringe 96'. 1996.

<http://www.geo.unizh.ch/rsl/fringe96/papers/papathanassiou-et-al/> (3.5.03)

Strozzi, Dammert, Wegmüller, Martinez, Askne, Beaudoin, Hallikainen. Landuse Mapping with ERS SAR Interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, No. 2. 2000.

Stussi, Liew, Lim, Nichol, Goh. 1997. Landcover classification using ERS SAR/INSAR data over coastal region of central Sumatra. Proc. 3rd. ERS Symposium, 17-21 March, 1997, Florence (ESA SP-414), pp. 391-396.

Stussi, Kwoh, Liew, Singh, Lim. ERS-1/2 Interferometry: Some Results on Tropical Forest. FRINGE 96 - ESA Workshop on Applications of ERS SAR Interferometry, 30 September to 2 October 1996, Remote Sensing Laboratories, University of Zurich, Switzerland. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/research/forest/fringe96/insar.html> (3.5.03)

Tokunaga, Vu. Finding the relationship between vegetation index and coherence signature to utilize the product of radar interferometry in land cover application. Proceedings ARCS 2002 SAR/INSAR. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/sar/178.pdf> (3.5.05)

Wegmüller, Werner. Retrieval of Vegetation Parameters with SAR Interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 35, No. 1. 1997.