

**Maa-57.270 Fotogrammetrian, kuvatulkinnan ja
kaukokartoituksen seminaari**

**Yhteensovitus ja kohdetiedon irrotus
SAR- ja optisen alueen datasta**

**Kevät 2006
Jonne Davidsson**

1 Johdanto.....	3
2 Aineistojen yhteensovitus ja rekisteröinti.....	3
2.1 Muunnosparametrit.....	4
2.2 Vastinpistemittaus.....	5
2.2.1 Vastinpisteiden keräys.....	5
2.2.2 Yhteensovitus.....	6
2.3 Rekisteröinti	7
2.4 Yhteensovituksen tarkkuudesta	7
3 Kohteiden irrotus	8
3.1 Toimintaperiaate.....	9
3.2 SAR-kuvan käsittely	10
3.2.1 Viivojen irrotus	10
3.3 Optisen kuvan käsittely	11
3.3.1 Parhaan suorakulmion sovitus	13
3.3.2 Monimutkaisen kohteen tunnistus	14
3.4 Tulosten tarkastelu	14
4 Yhteenveto	15
Viitteet.....	17

1 Johdanto

Jatkuvasti kasvavan kaukokartoitusdatan myötä on tullut tärkeäksi saattaa datan käsittely pisteeseen, jossa se on niin pitkälle automatisoitua kuin vain mahdollista. (P. Dare, I. Downman 2001)

Ennen kuin useasta eri lähteestä tulevaa dataa voidaan käyttää samanaikaisesti täytyy aineistot rekisteröidä keskenään. Rekisteröinnillä tarkoitetaan aineistojen saattamista samaan koordinaattijärjestelmään siten, että eri piirteet kuvautuvat oikeille paikoilleen, toisin sanoen eri aineistojen samat piirteet löytyvät samasta paikasta koordinaatistoa. Suositeltavaa on myös, että aineistot muunnetaan paikallisen koordinaatiston sijaan johonkin yleiseen geodeettiseen koordinaattijärjestelmään. (P. Dare, I. Downman 2001)

Aineistojen automaattinen keskinäinen rekisteröinti tapahtuu sovittamalla aineistot keskenään toisiinsa jollakin piirreperohjaisella menetelmällä. (P. Dare, I. Downman 2001)

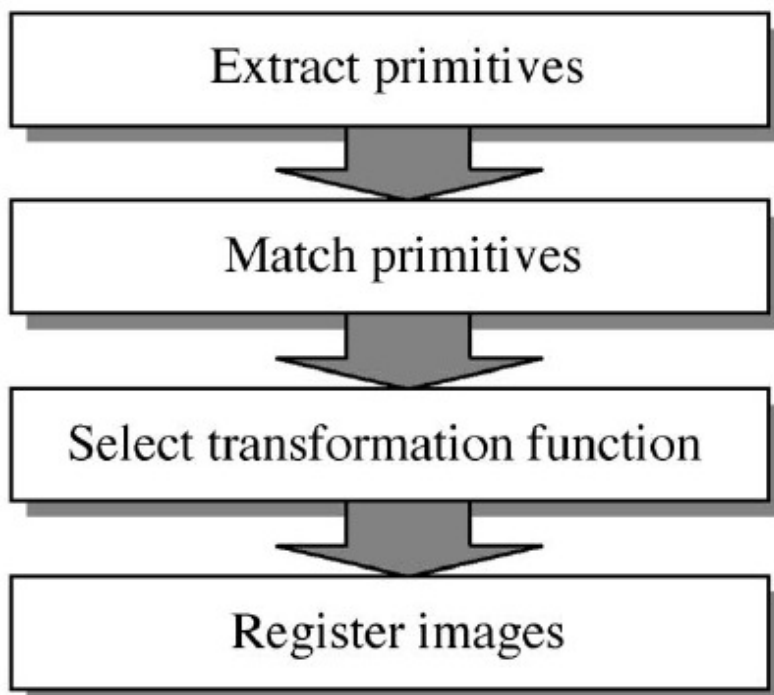
Yhdistämällä eri aineistoja pyritään parantamaan kohteiden, kuten rakennusten, tunnistamista ja irrotusta. Monissa tapauksissa rakennusten tunnistaminen pelkästä SAR-aineistosta on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta riippuen käytetystä aallonpituudesta ja kuvauskulmasta. (F. Tupin, M. Roux 2003)

Tässä tekstissä tarkastellaan pintapuolisesti eri aineistojen yhteensovitusta ja niiden mahdollistamaa kohteiden irrotusta. Kohteilla tarkoitetaan esimerkiksi rakennuksia. Tutka- ja satelliittitekniikoita ei tarkastella sen lähemmin. Tekstissä tarkastellaan prosesseja hyvin yleisellä tasolla, eikä esimerkiksi algoritmeja ja matemaattisia yhtälöitä käsitellä liiemmin.

2 Aineistojen yhteensovitus ja rekisteröinti

Ennen kuin päästään tarkkoihin mittaustuloksiin, tulee aineistojen olla mahdollisimman yhtenevästi samassa koordinaattijärjestelmässä. Tarkkuus mietitään aina tapauskohtaisesti.

Manuaalisen rekisteröinnin kehitys on viety hyvin pitkälle, mutta ihmisoperaattorin tekemään mittaukseen liittyy aina tietty epävarmuus, joka saattaa johtaa epätarkkoihin mittauksiin. Varsinkin aineiston määrän räjähdysmäinen kasvu vaatii pitkälti automatisoituja menetelmiä, jotka mahdollistavat useiden aineistojen yhtäaikaisen käytön. Aineistojen rekisteröintiprosessi havainnollistetaan kuvassa 1. (P. Dare, I. Dowman 2001)



Kuva 1: Automaattisen rekisteröinnin periaate (kuva & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

2.1 Muunnosparametrit

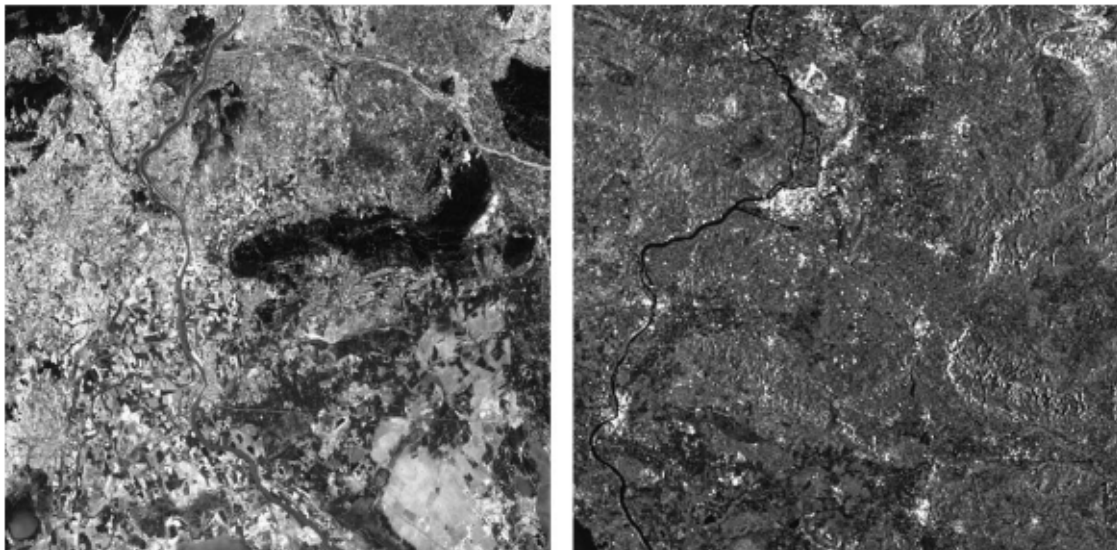
Aineistojen rekisteröinti edellyttää muunnosparametrien selvittämistä. Kun muunnosparametrit ovat selvillä, suoritetaan muunnos siten, että toinen sovitettavista aineistoista toimii isäntänä (*master*), ja pysyy siten muuttumattomana. Muunnettavaa aineistoa kutsutaan orja-aineistoksi (*slave*). Muunnettavalle aineistolle suoritetaan tässä tapauksessa affiini muunnos liitospistemittauksesta saaduilla parametreilla. Affiinin

muunnoksen parametreja ovat muun muassa skaalaus, kierto ja siirto. (P. Dare, I. Dowman 2001)

2.2 Vastinpistemittaus

2.2.1 Vastinpisteiden keräys

Perinteinen tapa on suorittaa liitospistemittaus manuaalisesti mittaamalla aineistoista liitospisteitä kuten rakennusten nurkkia tai teiden risteyskohtia. SAR- ja optisten aineistojen erilaisuuden vuoksi samoja manuaalisesti mitattavia liitospisteitä ei voida mitata automaattisesti. Esimerkki aineistojen erilaisuudesta on nähtävissä kuvalla 2. Siitä nähdään, kuinka erilainen tekstuuri on eri aineistojen välillä. Manuaalinen liitospistemittaus korvataan automaattisella menetelmällä joka soveltuu hyvin kahden radiometrialtaan varsin erilaisen aineiston yhteensovittamiseen. (P. Dare, I. Dowman 2001)



Kuva 2: Optisen (vas.) ja SAR-aineiston (oik.) suuret eroavaisuudet vaikeuttavat yhteensovittamista (kuva & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

Pisteiden sijasta etsitään piirteitä, jotka voidaan tunnistaa kaikista aineistoista. Sen sijaan, että käytettäisiin vain yhtä piirreirrotus-algoritmia otetaan käyttöön useampi eri algoritmi.

Hyödyntämällä useampaa erilaista piirreirrotusalgoritmia saavutetaan merkittävästi suurempi liitospisteiden lukumäärä. Hyviä piirreirrotusalgoritmeja ovat esimerkiksi derivaattoihin perustuvat reunanhakumenetelmät, kuten LoG- ja Canny-operaattorit. (P. Dare, I. Dowman 2001)

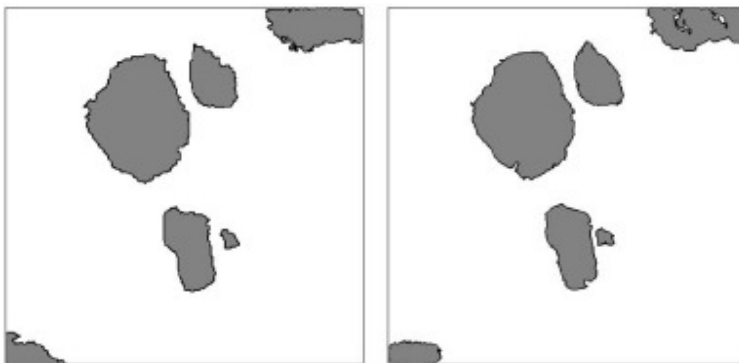
2.2.2 Yhteensovitus

Suurimpana haasteena automatiikalle on aineistojen erilaisuus. Pikselikoot vaihtelevat, kuvat ovat toisiinsa nähden kiertyneitä ja vääristyneitä.

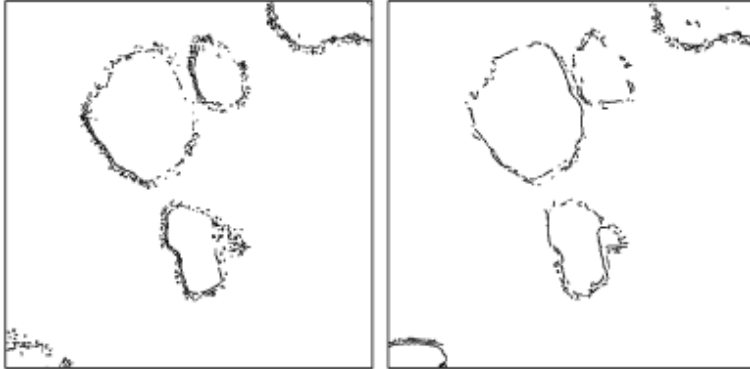
Ensimmäisenä voidaan käyttää apuna muutamaa manuaalista liitosmittausta, joilla saadaan helpotettua ja nopeutettua automatiikan työtä. Manuaalisilla liitoksilla saadaan poistettua suurimmat mittakaavasta ja kierrosta johtuvat eroavaisuudet.

Toisessa vaiheessa sovitetaan läikköoperaattorin (*patch operator*) rajaamat alueet toisiinsa (kuva 3). Läikkösovituksessa liitospisteet saadaan sovitettavan läikän keskipisteestä.

Kolmannessa ja samalla viimeisessä vaiheessa sovitetaan aineistot yhteen reunaoperaattorin tunnistamien reunojen avulla. Reunoja sovittamalla saadaan kattavampi ja tasaisemmin jakautunut liitospistejoukko, sillä yhdestä löydetystä reunasta saadaan useita liitospisteitä (kuva 4). (P. Dare, I. Dowman 2001)



Kuva 3: Yhteensovitettu kuvapari läikköoperaattorilla (kuva & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)



Kuva 4: Yhteensovitettu kuvapari reunaoperaattorilla (kuva & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

2.3 Rekisteröinti

Vastinpisteiden mittaamisen jälkeen saadaan muunnosparametrit selville, ja orjakuva voidaan muuntaa isäntäaineistoon sopivaksi. Muunnoksen jälkeen aineistot ovat rekisteröityjä toisiinsa nähden (kuva 5). (P. Dare, I. Dowman 2001)



Kuva 5: Rekisteröity kuvapari (kuva & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

2.4 Yhteensovituksen tarkkuudesta

Automaattisella liitospistemittauksella saavutettavien liitospisteiden lukumäärä on satoja kertoja enemmän kuin mihin ihmisoperaattori kykenisi järkevässä ajassa. Suorittamalla liitospisteiden haku läikköoperaattorilla saadaan hyvät lähtökohdat reunanhakualgoritmille, kun käytetään hyväksi spatiaalista tietoa. Puolet löydyistä vastinpisteistä muutetaan tarkistuspisteiksi ja lopuilla lasketaan affiinin muunnoksen parametrit. Sama toistetaan siten, että pisteryhmien roolit vaihdetaan päinvastaisiksi, eli aiemmin tarkistuspisteinä käytettyjä pisteitä käytetään laskemaan

affiinin muunnoksen parametrit ja parametrien laskentaan käytetyille pisteille lasketaan residuaalit. Taulukoissa 1 ja 2 tämän muutoksen vaikutus nähdään Test 1 ja Test 2 – sarakkeissa. (P. Dare, I. Dowman 2001)

Taulukosta 1 nähdään sovituksen tarkkuus läikkäsovituksen jälkeen. Vaikka residuaalit vaihtelevat testien välillä, ei vaihtelu ole kuitenkaan niin suurta, että olisi aihetta epäillä yhteensovituksen riittävyttä tässä vaiheessa.

Vaikka läikkäsovituksella saatavien vastinpisteiden lukumäärä on huomattavasti pienempi verrattuna reunasovitukseen, on vastinpisteiden lukumäärä kuitenkin riittävä antamaan likiarvot reunasovitukselle. (P. Dare, I. Dowman 2001)

	Test 1	Test 2
RMS residual in x	14.2	12.7
RMS residual in y	7.5	4.4
Total RMS residual	16.0	13.4

Taulukko 1: Residuaalit pikseleissä tarkistuspisteillä läikkäsovituksen jälkeen (taulukko & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

Taulukosta 2 nähdään sovituksen tarkkuus reunasovituksen jälkeen. Lukuarvoista on havaittavissa se, että suuren vastinpistemäärän johdosta residuaalitkin pysyvät hyvin lähellä toisiaan ja se kertoo osaltaan myös aineistojen hyvästä istuvuudesta toisiinsa nähden. (P. Dare, I. Dowman 2001)

	Test 1	Test 2
RMS residual in x	9.9	9.8
RMS residual in y	4.5	4.5
Total RMS residual	10.9	10.8

Taulukko 2: Residuaalit pikseleissä tarkistuspisteillä viivasovituksen jälkeen (taulukko & teksti P. Dare, I. Dowman 2001)

SAR-kuvalla pikselikoko on 1m x 1m. Tästä seuraa että noin 10 pikselin residuaali vastaa maastossa 10 metrin siirtymää. (U. Still et al. 2003)

3 Kohteiden irrotus

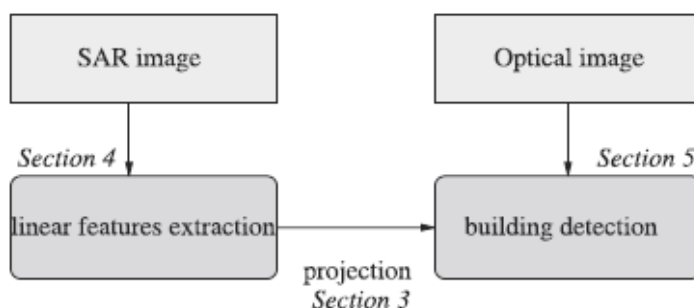
Kohteiden irrotuksella kerätään tietoa tutkittavan alueen objekteista. Kohteista kerätään ainakin objektin euklidinen geometria ja lisäksi voidaan kerätä tietoa esimerkiksi radiometriasta ja spektristä. Euklidisella geometrialla tarkoitetaan kohteen XYZ-

ulottuvuuksia. Kohteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä muun muassa teitä ja taloja. Mikäli käytössä on ennalta tunnettua tietoa kohteesta, kuten rautalankamalli, voidaan luokittelukin yrittää suorittaa automaattisesti. Kerätyllä tiedolla voidaan tutkia muutoksia ja samalla päivittää olemassa olevia tietoja. Tietoja voidaan käyttää myös tarkkuuksien parantamiseen ja korkeustiedon lisäämiseen olemassa olevaan 2D-aineistoon. (E.P. Baltsavias 2004)

Pelkästä InSAR-korkeusmallista ei ole vielä mahdollista luoda tarkkaa mallia rakennuksista. Varsinkin katon rekonstruointiin data on vielä liian epätarkkaa. Epätarkkuudet ja rekonstruointiongelmat johtuvat kohinasta, kuvauskulmasta ja katon orientaatiosta tutkaan nähden. Datan tarkkuus riittää kuitenkin suurpiirteisempään muutoksen tulkintaan. Korkeustarkkuus InSAR-datalla on metriluokkaa ja tasossa liikutaan desimetrien tarkkuuksissa. (U. Stilla et al. 2003)

3.1 Toimintaperiaate

Tuomalla SAR-datan lisäksi optisen alueen kuva SAR-kuvaa vastaavalta alueelta voidaan parantaa kohteiden kuten rakennusten irrotusta. Kohdeirrotus tapahtuu siten, että SAR-kuvalta etsitään suorat piirteet, joita käytetään apuna tulkittaessa kohdetta optiselta kuvalta (kuva 7). Esimerkki SAR-kuvalta näkyvistä suorista piirteistä on nähtävissä kuvalla 8. (F. Tupin, M. Roux 2003)



Kuva 7: Kohdeirrotuksen toimintaperiaate SAR- ja optiselta kuvalta (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)



Kuva 8: Esimerkki SAR- ja optisen alueen kuvasta samasta kohteesta (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)

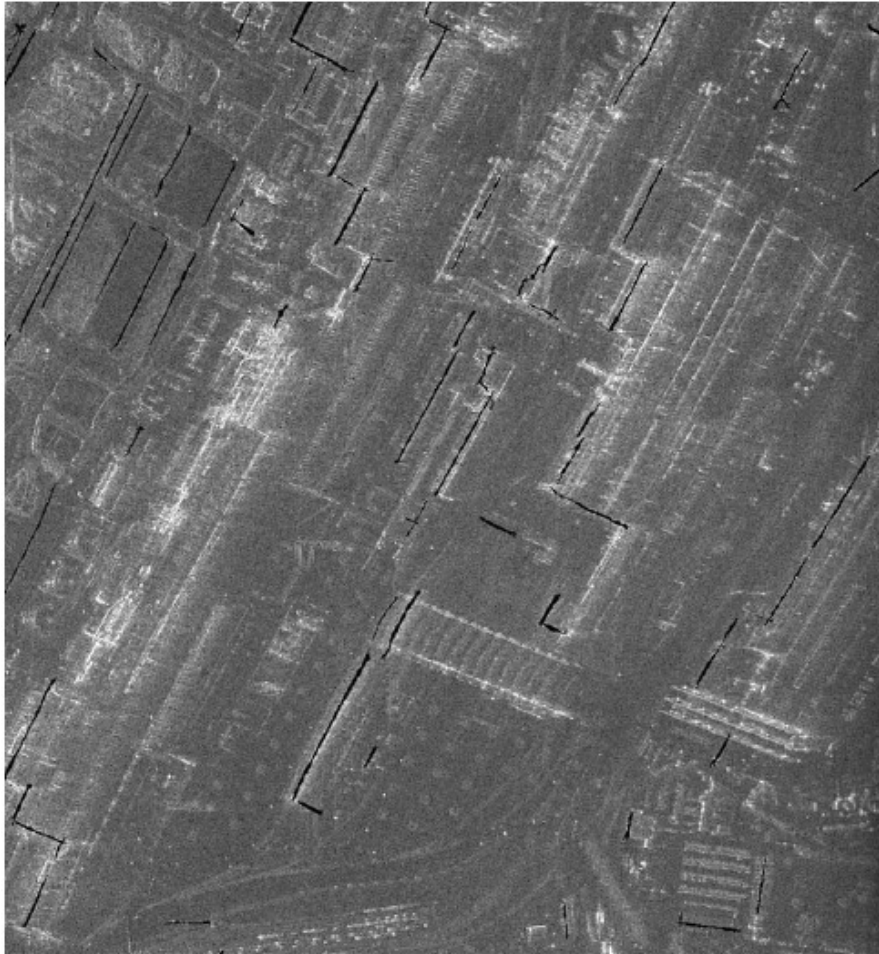
3.2 SAR-kuvan käsittely

SAR-kuvasta erottuvat parhaiten kirkkaina viivoina reunat, jotka ovat kohtisuorassa tutkasensoria päin. Nämä reunat, kuten talon seinän ja maanpinnan muodostama kulmakohda, pyritään tunnistamaan reunaoperaattorilla, kuten Canny-operaattori (kuva 9). (F. Tupin, M. Roux 2003)

3.2.1 Viivojen irrotus

Viivojen irrotuksessa käytetään kahta viivaoperaattoria, jotka molemmat ottavat huomioon kohteen kohinan tilastolliset ominaisuudet. Molempien operaattoreiden tuottamat viivat yhdistetään, jotta saadaan yksi ratkaisu. Yksittäisellä ratkaisulla tarkoitetaan kummallakin operaattorilla havaittua samaa viivaa, joka on yhdistetty yhdeksi. Käytettävät reunaoperaattorit ovat *ratio edge detector* ja *normalized centered correlation*. (F. Tupin, M. Roux 2003)

Viivojen tunnistusoperaatio suoritetaan keskiarvoistetulle kuvalle, jotta kohinan ja viivan paksuuden vaihtelut saadaan minimoitua. (F. Tupin, M. Roux 2003)

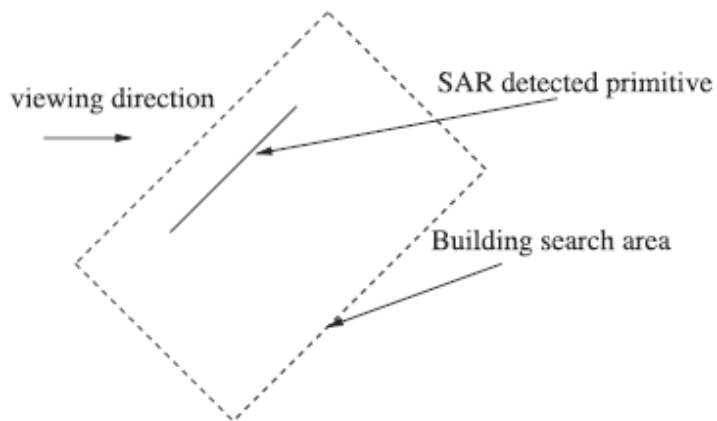


Kuva 9: SAR-kuvalta havaitut viivat (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)

3.3 Optisen kuvan käsittely

Optiselle kuvalle suoritetaan Canny-Deriche -reunaoperaattori, jonka jälkeen löydetyt reunat ohennetaan ja reunoille haetaan vektoriesitykset. Edellä mainitun reunahaun lisäksi hyödynnetään tietoa tutkasensorin kuvaussuunnasta (kuva 10, *viewing direction*). Tämän avulla lasketaan kiinnostavuusalue (kuva 10), josta hyväksytään vain tunnetun janan suuntaiset tai kohtisuorat reunat tietyn kulman sallimissa rajoissa. Kiinnostavuusalueella tarkoitetaan aluetta, jolta rakennus pyritään löytämään. Reunojen hyväksymiskulma määritetään tapauskohtaisesti.

Kun SAR-kuvalta on saatu irrotettua viivat, ne siirretään optisen kuvan päälle. Tässä vaiheessa tosin käytetään vain viivan alku- ja loppupäistä muodostettua janaa. Kyseessä olevaa janaa kutsutaan SAR-primitiiviksi ja niiden avulla saadaan selville potentiaalisten rakennusten sijainnit (kuva 11). Rakennusten tunnistukseen optiselta kuvalta käytetään kahta menetelmää. Ensimmäisellä menetelmällä (parhaan suorakulmion sovitus) pystytään tunnistamaan vain suorakulmaisia rakennuksia, mutta se on samalla nopeampi. Mikäli ensimmäisellä menetelmällä ei löydetä rakennusta, siirrytään käyttämään toista menetelmää (monimutkaisen kohteen tunnistus), jolla on mahdollista havaita monimutkaisempia rakennuksia. (F. Tupin, M. Roux 2003)



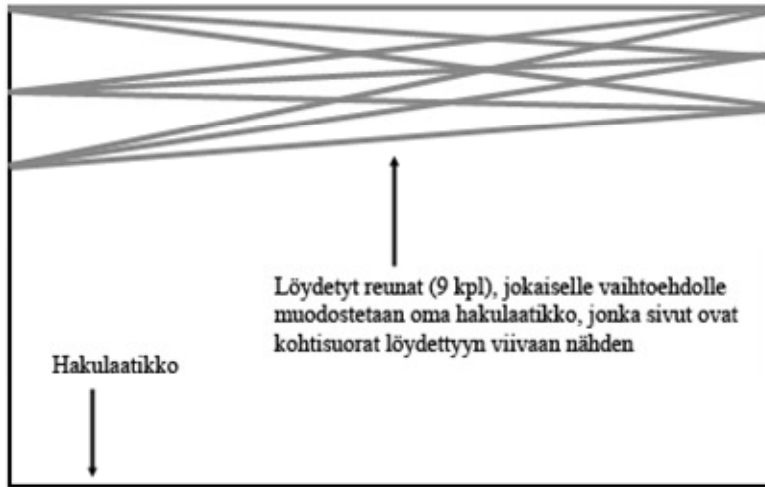
Kuva 10: Kiinnostavuusalueen (*building search area*) määrittäminen jokaiselle SAR-kuvalta löydetylle viivalle (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)



Kuva 11: Optisen kuvan päälle piirretyt SAR-primitiivit (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)

3.3.1 Parhaan suorakulmion sovitus

Ensimmäisenä haetaan kiinnostavuusalueelta (kuva 10) SAR-primitiiviä lähinnä oleva rakennuksen samansuuntainen katon ja seinän muodostama reuna optiselta kuvalta. Löydetylle rakennuksen reunalle suoritetaan vielä uusi reunahaku, jonka tuloksena saadaan reunajanan molemmista ääripäistä kolme parasta janan päätepistettä (kuva 12). Tämän jälkeen jokaiselle reunavaihtoehdolle suoritetaan laatikkosovitus. Jokaista laatikon sivua pitkin suoritetaan reunatunnistus jonka jälkeen laatikon sivulle lasketaan sovituksen antama tulos. Tämä suoritetaan siis jokaiselle laatikon sivulle erikseen ja tulos on sitä parempi mitä enemmän laatikon sivu myötäilee mahdollisesti löydettyä reuna. Luonnollisestikaan kun janan kohdalta ei löydetä reuna saa kyseisen sivun sovitus huonon tuloksen. Lopuksi laatikon sivujen tulokset yhdistetään ja parhaimman tuloksen antava laatikkosovitus hyväksytään. (F. Tupin, M. Roux 2003)



Kuva 12: Parhaan suorakulmion sovitus

3.3.2 Monimutkaisen kohteen tunnistus

Mikäli laatikkosovituksella ei saada aikaiseksi haluttua tulosta, otetaan käyttöön erilainen lähestymistapa. Monimutkaisemmat rakennelmat pyritään tunnistamaan nurkkien avulla siten että rakennus pyritään määrittämään joukosta yhdistettyjä nurkkapisteitä.

Nurkkapisteet saadaan tutkimalla havaittujen talon reunojen muodostamien suorien leikkauspisteitä. Nurkkapisteistä muodostetaan hakupuu, josta lasketaan reitit lähtöpisteestä muiden pisteiden kautta takaisin lähtöpisteeseen. Parhaan tuloksen saanut reitti valitaan talon muodoksi. Tulos saadaan laskettua jälleen etsimällä reuna nurkkapisteistä muodostettavan janan alueelta ja mikäli jana seuraa reunaa paraneet tulos sen mukaisesti. (F. Tupin, M. Roux 2003)

3.4 Tulosten tarkastelu

Menetelmä tuottaa ongelmia isojen rakennusten tunnistuksessa, sillä SAR-primitiivit katkeilevat, ja vastaavat vain pientä osaa kokorakennuksesta. Katoilta löytyvät rakennelmat haittaavat myös tunnistusta. Pienten ja keskisuurten rakennusten tunnistuksessa menetelmä on tyydyttävä, sillä pienempien rakenteiden muoto on yleensä yksinkertainen.

Toki paranneltavaa riittää monessa kohtaa tunnistusprosessia. SAR-kuvaa voitaisiin hyödyntää paremmin hakutuloksen validoinnissa ja suurille rakennuksille tulisi kehittää parempi menetelmä. Esimerkki tunnistuksen tuottamasta lopputuloksesta on nähtävissä kuvalla 13. (F. Tupin, M. Roux 2003)



Kuva 13: Automaattisen rakennuksen tunnistuksen tuottama lopputulos. Mustat ja valkoiset laatikot ovat tunnistettuja rakennuksia tai niiden osia. Valkoiset viivat ovat SAR-primitiivejä. (kuva & teksti F. Tupin, M. Roux 2003)

4 Yhteenveto

Alati kasvava tiedon määrä vaatii automaattisten prosessien viemistä mahdollisimman pitkälle. Menetelmien tulee kuitenkin olla niin vankkoja ja luotettavia, että niiden käytöstä johtuva virhe jää mahdollisimman pieneksi.

Ennen eri aineistojen samanaikaista hyödyntämistä tulee niiden olla samassa koordinaattijärjestelmässä. Se, miten tarkasti aineistot liitetään toisiinsa, mietitään tapauskohtaisesti. Toisin sanoen käytettävä sovellus määrittää tarvittavan tarkkuuden. Lisäämällä hyvien liitospisteiden lukumäärää saadaan aineistot rekisteröityä paremmin toisiinsa. Liitospisteiden avulla saadaan laskettua affiinille muunnokselle parametrit ja siten aineistot saadaan rekisteröityä keskenään.

Kun aineistot ovat keskenään rekisteröidyt voidaan niiltä irrottaa kohteita kuten rakennuksia ja teitä. Tässä vaiheessa ainakin monimutkaisemmat rakennukset tuottavat automatiikalle ongelmia.

Tässä tekstissä esitetty rakennusten tunnistus on vain yksi esimerkki mahdollisesta toteutuksesta. Kyseinen prosessi joutuu vielä mittavan kehitystyön alle, ennen kuin sitä voidaan käyttää kaupallisissa sovelluksissa.

Viitteet

P. Dare, I. Dowman 2001 *An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56 (2001) 13-28

F. Tupin, M. Roux 2003 *Detection of building outlines based on the fusion of SAR and optical features* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58 (2003) 71-82

E.P. Baltsavias 2004 *Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58 (2004) 129-151

U. Stilla et al. 2003 *Potential and limits of InSAR data for building reconstruction in built-up areas* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58 (2003) 113-123