

Maa-57.270, Fotogrammetrian, kaukokartoituksen ja kuvantulkinnan seminaari

Suuriformaattiset digitaaliset ilmakuvakamerat

2007
Lauri Saarinen

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Digitaalinen ilmakuvakamera	3
2.1	Matriisikamera	3
2.2	Rivikamera	4
2.2.1	Suora georeferointi.....	5
3	CCD-kenno.....	7
4	Tuotantolinja.....	7
4.1	Filmikamerat.....	8
4.2	Digitaalikamerat.....	8
5	Kamerat	8
5.1	Vexcel UltraCamD.....	8
5.2	Z/I Imaging DMC	10
5.3	Leica ADS40	11
5.4	Testit.....	11
5.4.1	Radiometria	11
5.4.2	Erotuskyky.....	12
5.4.3	Geometria	12
5.4.4	Muuta	13
6	Yhteenveto.....	13
	Lähteet	14

1 Johdanto

Ensimmäiset digitaaliset ilmakuvakamerat on otettu tuotantokäyttöön. Mielenkiinto kyseisiä laitteita kohtaan on kasvanut, sillä digitaalisilla kameroilla on useita huomattavia hyötyjä perinteisiin kameroihin verrattuna. (Ilves, 2003)

Digitaaliset ilmakuvakamerat ovat vallanneet markkinoita pieniresoluutioisilla kuvilla. Suurimmat digitaalisten kameroiden edut verrattuna analogisiin malleihin ovat täysin digitaalinen tuotantolinja, huomattavasti parempi radiometrinen laatu sekä mahdollisuus kerätä samanaikaisesti pankromaattista, väri- ja infrapunakuvaa. (Heipke ym., 2006)

Ilmakuvauksessa digitaaliset kamerat ovat tulleet filmikameroiden rinnalle 2000-luvulla. Kun kuvantuotanto on muuten täysin digitaalista, on luonnollista, että myös kuvaus suoritetaan digitaalisesti. Tekninen kehitys on mahdollistanut riittävän laadukkaiden kameroiden valmistamisen. Ensimmäiset laajaformaattiset ilmakuvakamerat ovat olleet jo muutaman vuoden kaupallisessa käytössä.

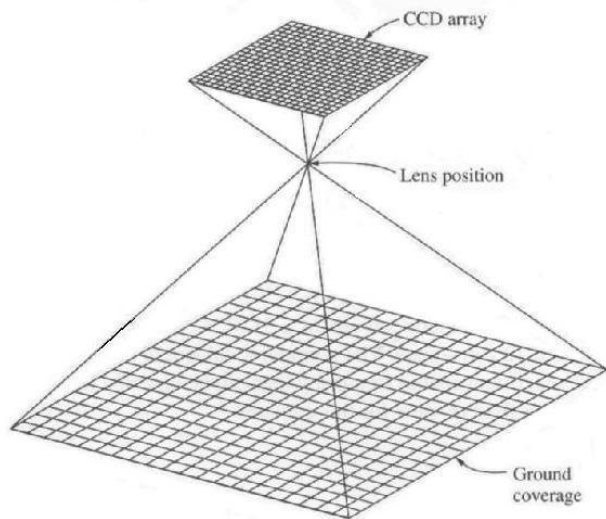
Tässä työssä käsittelen digitaalisten ilmakuvakameroiden ominaisuuksia ja käyttöä verrattuna perinteisiin filmikameroihin sekä kuvantuotantoprosessin eroja. Vertailussa on mukana 3 CCD-kennon perustuvaa, kaupallisessa käytössä olevaa digitaalista ilmakuvakameraa: Leican ADS40, Vexcelin UltraCamD ja ZEISS/INTERGRAPHin (Z/I) Digital Mapping Camera (DMC). Kaikille on tehty erilaisia ominaisuuksiin ja kuvan laatuun liittyviä testejä.

2 Digitaalinen ilmakuvakamera

Digitaaliset ilmakuvakamerat perustuvat pääosin CCD-kennon käyttöön. Filmikameraan verrattuna CCD-kenno vastaa toiminnaltaan likimain filmiä, se siis havaitsee kohteesta tulevan säteilyn ja rekisteröi sen. Kun havainto on tehty ja rekisteröity, se tallennetaan erilliseen muistiyksikköön. (Wolf ja Dewitt, 2000)

2.1 Matriisikamera

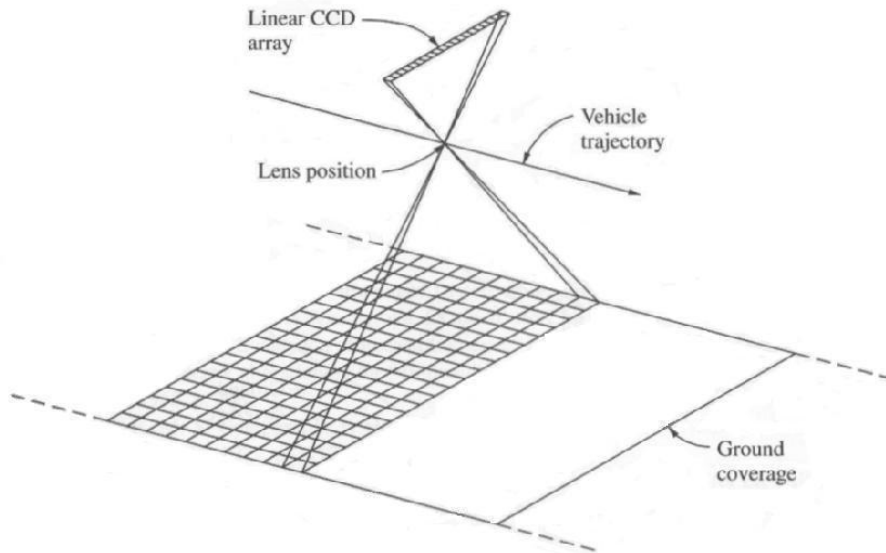
Matriisikamera vastaa rakenteeltaan hyvin pitkälti perinteistä filmikameraa, suurin ero on filmin vaihtuminen CCD-kennon. Matriisikameran matriisilla tarkoitetaan CCD-kennoa, joka sisältää lukuisia puolijohde-elementtejä. Yksi puolijohde-elementti puolestaan vastaa kuvalla yhtä kuvapikseliä. Yksi elementti siis tallentaa kuvan yhden kuvapikselin alalta. Nykyiset matriisit eivät ole riittävän suuria tarkkaan kuvaukseen, eivätkä suurimmat matriisit korkean hintansa takia sovellu ilmakuvaukskameroissa käytettäviksi. Nykyiset matriisikamerat onkin toteutettu yhdistämällä useita pienempiä matriiseja, joiden tuottama informaatio yhdistetään yhdeksi isommaksi kuvaksi. (Vilhomaa 2005) (Ilves 2003)



Kuva1 CCD-matriisiä käyttävän kameran geometria (Wolf ja Dewitt 2000)

2.2 Rivikamera

Rivikamera koostuu nimensä mukaisesti rivistä puolijohde-elementtejä. Matriisikamerasta poiketen rivikamera ei ota yksittäisiä kuvia vaan skannaa maata samanlaisella periaatteella kuin kaukokartoitussatelliitit. Yksinkertaisen rivikameran heikkous on, ettei stereokuvaa saada, lopullisena kuvana on vain pitkä ja kapea kuvamatto/jono. Stereokuvaa kuitenkin saadaan, jos lisätään yksi tai useampia puolijohde-elementtirivejä kameraan. Tällöin suoraan alaspäin kuvaavan rivin lisäksi on yksi tai useampia rivejä, jotka kuvaavat maata eri katselukulmista. Tuloksena saadaan rivien määrä kuvamattoja, joista voidaan muodostaa stereokuvat. (Ilves 2003) (Wolf ja Dewitt, 2000: 76–77)

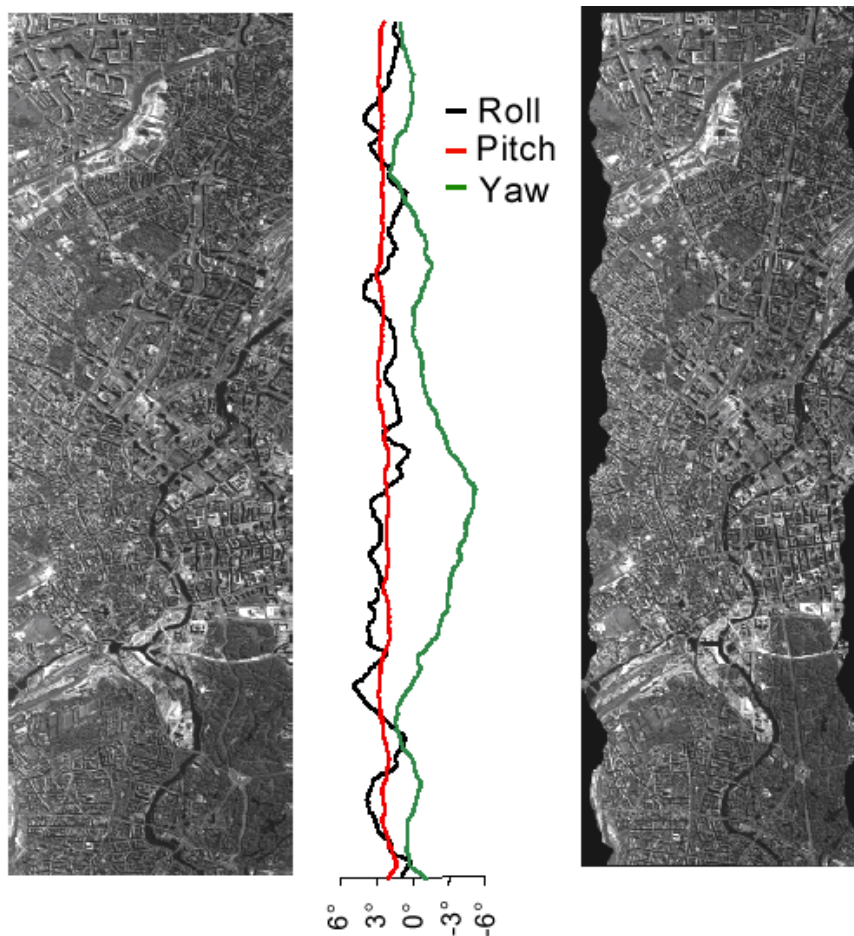


Kuva2 CCD-riviä käyttävän kameran geometria (Wolf ja Dewitt 2000)

2.2.1 Suora georeferointi

Koska kuvaus on rivikameralla jatkuvaa, orientointeja ei voida ratkaista epäsuorasti ilmakolmioimalla, vaan on käytettävä suoraa georeferointia. Suorassa georeferoinnissa ratkaistaan ulkoinen orientointi GPS:n ja IMU:n (Inertial Measurement Unit) avulla. GPS:llä saadaan selville lentokoneen paikka, ja kun antennin ja kameran välinen vektori tunnetaan, saadaan selville kuvanottoaikat. IMU:n avulla saadaan selville kameran kallistukset. Näistä tuloksista (IMU+GPS) saadaan interpoloimalla selville koneen lentoreitti ja sitä kautta kuvien (skannauslinjojen) ulkoiset orientoinnit. (Ilves 2003), (Haggrén, 2002).

Suoraa georeferointia voidaan käyttää myös matriisikameroille, mutta sen epäluotettavuuden takia päädytään ulkoiset orientoinnit yleensä ratkaisemaan perinteisesti ilmakolmioimalla tai käyttäen integroitua sensorientointia, jossa GPS/IMU orientoinnit toimivat havaintoina blokkitasoituksessa Suoran georeferoinnin tarkkuus on kuitenkin koko ajan paranemassa ja tulevaisuudessa se tulee todennäköisesti olemaan pääasiallinen tapa ratkaista ulkoiset orientoinnit.



Kuva3 ADS40-kameran kuva, IMU-data ja datan perusteella oikaistu kuva (Haggrén ja Honkavaara 2002)

2.3 Vertailu

Rivikameran geometrinen tarkkuus riippuu pitkälti GPS/IMU-datan laadusta ja kuvausolosuhteista. Rivikameran maastoresoluutio riippuu lentonopeudesta, matriisikameralla näitä rajoitteita ei ole tai ne voidaan kompensoida. Heikkoutena matriisikameralla on kuvan muodostaminen useista osakuvista, josta seuraa, ettei kameran rakenne ole yhtä vankka kuin rivikameralla. Matriisikameroilla värikuvat kuvataan karkeammalla resoluutiolla kuin rivikameroilla, varsinainen kuva saadaan yhdistämällä väri-informaatio pankromaattiseen kuvaan. (Ilves 2003) Väriillisiä stereokuvia ei aiemmin saatu tuotettua rivikameroilla, mutta uuden sukupolven ASD40-kameralla sen pitäisi valmistajan mukaan olla mahdollista.

3 CCD-kenno

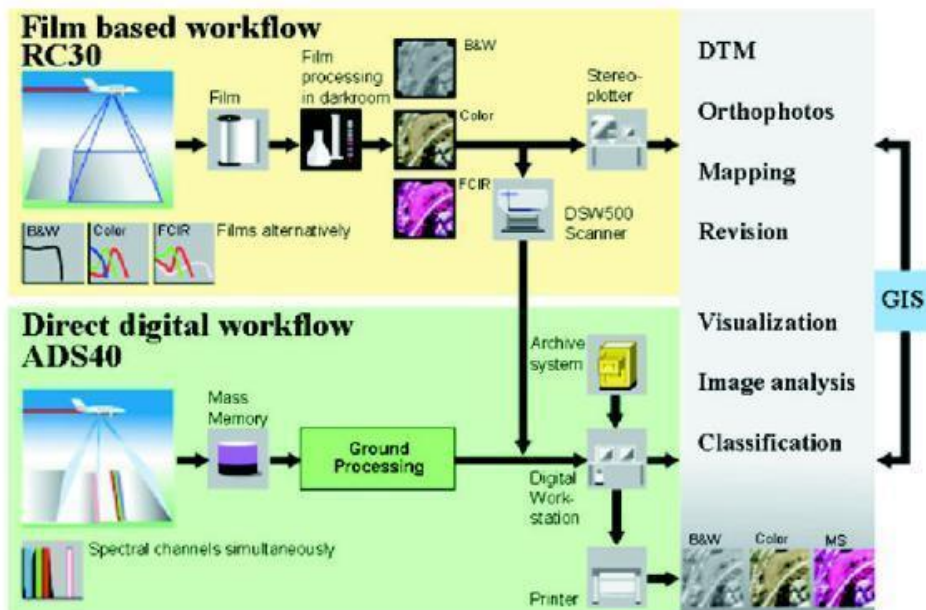
Charge coupled device, eli CCD-kenno keksittiin vuonna 1970. Ensimmäisissä riviensensoreissa oli 96 puolijohde-elementtiä (pikseliä), nykyisissä matriiseissa pikseleitä on kymmeniä miljoonia ja kehitys jatkuu edelleen. Toimintaperiaate CCD:llä on seuraava:

1. Puolijohde-elementtiin saapuu valoa (fotoni)
2. Säteily aiheuttaa jännitevarauksen
3. Jännitevaraus mitataan ja rekisteröidään

CCD ei erottele siihen osuvan säteilyn aallonpituutta, se ei siis itsessään tunnista eri värejä. Värien tunnistamiseen voidaan käyttää suotimia tai prismoja, jotka erottelevat eri värit omille puolijohde-elementeilleen. Jokainen väri tarvitsee siis oman sensorin, johon tulee vain tietyn väristä (aallonpituista) valoa. Ilmakuvakameroissa värejä kuvaavat CCD-matriisit ovat yleensä pienempiä kuin varsinainen kuvakoko. Esimerkiksi Vexcel UltracamD:n 11500x7500 pikselin kokoinen kuva-alaan värit kuvataan neljällä 4000x2700-kokoisella matriisilla. (Schenk, 1999)

4 Tuotantolinja

Cost-Effective, End-To-End Digital Dataflow



Work digitally from flight planning through image acquisition—return from the mission with digital data ready for image processing and archiving.

Kuva4 Kuvantuotanto filmi- ja digitaalikameralla (Haggren ja Honkavaara 2002)

Tuotantolinjalla tarkoitetaan tässä prosessia ja työvaiheita, jotka käydään läpi kuvauksen ja valmiin digitaalisen ilmakuvan välillä.

Digitaalisen kuvan tuotannossa digitaalikameralla on huomattava etu verrattuna filmikameraan. Eri kuvatyypeille pitää filmikameroissa olla oma filminsä ja kehittämisen jälkeen ne pitää edelleen skannata. Digitaalikameran kuvat ovat suoraan digitaalisessa muodossa eivätkä ne vaadi yhtä pitkää prosessointia ennen kuin kuva on valmis jatkokäsittelyyn.

4.1 Filmikamerat

Filmikameralla erityyppiset kuvaukset (musta-valko, väri, väärä-väri) on tehtävä omille filmeilleen. Filmi toimii kuvauksissa tallennusmedian ja skannauksen jälkeen se jää yleensä varmuuskopioksi kuvantuottajalle. Kuvauksen jälkeen filmi pitää kehittää ja skannata, jotta kuva saadaan digitaaliseen muotoon.

4.2 Digitaalikamerat

Digitaalikameroissa kuva tallennetaan kuvanoton jälkeen joko kameraan tai ulkoiseen tallennusyksikköön. Kuvauksen jälkeen siirretään data (kuvat) prosessoitavaksi. Prosessoinnissa kootaan osakuvat kokonaiseksi kuvaksi (matriisikamerat). Kuva säilyy koko ajan digitaalisessa muodossa, joten mitkään fyysiset tapahtumat eivät huononna kuvan laatua (vrt. filmin deformatuminen).

5 Kamerat

5.1 Vexcel UltraCamD (<http://www.vexcel.com/>)



Kuva5 Vexcel UltracamD

Vexcel UltraCamD on CCD:hen perustuva matriisikamera. Siinä on yhteensä 13 kpl 4000x2700 pikselin kokoista CCD-matriisia. Matriiseista 9 tuottaa kohteesta pankromaattisen kuvan (11500x7500 pikseliä) ja loput 4 tuottavat värit (sininen,

Formatted: English (U.K.)

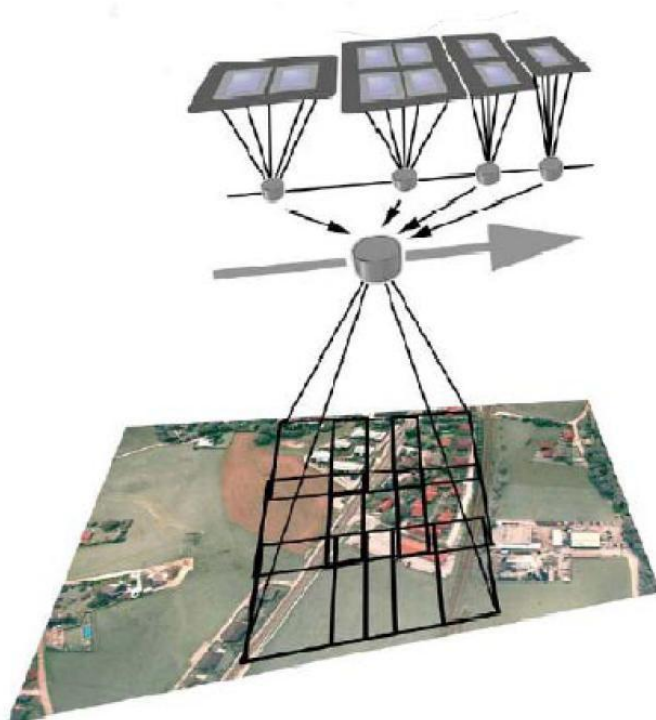
Field Code Changed

Formatted: English (U.K.)

Formatted: English (U.K.)

punainen ja vihreä) sekä lähi-infrapunakanavan kuvan. Pankromaattisen kuvan muodostavat matriisit (9) on jaettu kuvan mukaisesti neljään eri kameraan. Niistä suurin, neljän sensorin kamera, on ”master”, jonka matriisit tallentavat kuvan kulmat. Loput 5 matriisia on jaettu kolmeen eri ”slave” kameraan ja ne tallentavat master-kameran kuvien väliin jäävät alueet. Saadut 9 osakuvaa yhdistetään toisiinsa prosessointivaiheessa, jolloin saadaan varsinainen pankromaattinen kuva(11500x7500). Värejä tallentavat matriisit kuvaavat koko kuva-alan kerrallaan.

Radiometrinen resoluutio kameralla on 12 bittiä. Kamerajärjestelmään kuuluu sensoriyksikön (Sensor Unit, SU) lisäksi prosessointi- ja tallennusyksikkö (SCU) sekä erillinen datansiirtoyksikkö (Mobile Storage Unit, MSU). SCU:hun mahtuu dataa kerrallaan noin 1.5 TB joka vastaa noin 2700 kuvaa. (Haggrén, 2002)



Kuva6 Pankromaattisen kuvan muodostuminen UltraCamD-kamerassa

5.2 Z/I Imaging DMC (<http://www.intergraph.com>)



Kuva7 Z/I Imaging DMC kamera

ZEISS/INTERGRAPH (Z/I) Digital Mapping Camera (DMC) on UltracamD:n tavoin CCD-matriisiin perustuva digitaalinen ilmakuvakamera. DMC:hen kuuluu 4 kpl 7000x4000 pikselin CCD-matriisia, jotka muodostavat kohteesta 13824x7680 pikselin kokoisen pankromaattisen kuvan. Lisäksi kameraan kuuluu 4 kpl 3000x2000 pikselin kokoisia matriiseja, jotka tallentavat kohteesta multispektraalin kuvan. DMC:n pankromaattisen kuvan tuottavat matriisit on suunnattu, kuten UltraCamD:n master kamerassa, mutta DMC:n osakuvat peittävät toisensa ja ovat kaikki itsenäisiä kameroita, joten lisäkuvia ei tarvita. Värit kuvataan kuten UltraCamD:ssä, eli yksi matriisi vastaa yhdestä väristä koko kuvan alueella.

DMC radiometrinen erotuskyky on 12 bittiä. Kameraan kuuluu kamerayksikön (kuvassa) lisäksi 3 FDS-tallennus yksikköä, joihin mahtuu kuvia yhteensä n. 4400. (Ahokas)

5.3 Leica ADS40 (<http://www.leica-geosystems.com>)

Leica Airborne Digital Sensor40 (ADS40) on edelläesitellyistä kameroista poiketen rivikamera, se ei siis ota yksittäisiä kuvia, vaan skannaa CCD-rivillä maata. Kuvaa luetaan kamerassa jatkuvasti ja tuloksena on kuvamatto, jonka leveys riippuu CCD-rivin sisältämien puolijohde-elementtien määrästä (ADS40 12000) ja kuvausresoluutiosta. ADS40:ssä on CCD-rivejä yhteensä 10 kpl. Pankromaattista kuvaa tuottaa kolme kahden rivin yhdistelmää, jotka on limitetty siten, että puolijohde-elementit ovat limittäin. Näin saadaan aikaan parempi resoluutio. Lisäksi kamerassa on 4 CCD-riviä, jotka tallentavat multispektraalia kuvaa.



Kuva8 Leica ADS40

5.4 Testit

Maanmittauslaitos on yhteistyössä geodeettisen laitoksen kanssa suorittanut aiemmin käsitellyille ilmakuvakameroille (UltraCamD, DMC, ADS40) testejä vuosina 2004 ja 2005. Testeissä tutkittiin kuvien ominaisuuksia (geometrinen tarkkuus, radiometrinen laatu, erotuskyky) ja järjestelmien tuotannollisuutta. Testit jouduttiin suorittamaan käytännön syistä eri kameroille eri aikaan, mistä johtuen kuvausolosuhteet olivat eri kameroille erilaiset. Digitaalisten kameroiden lisäksi testissä oli verrokkina yksi filmikamera (Leica RC20).

5.4.1 Radiometria

Radiometrian pitäisi oletuksen mukaan olla digitaalisilla kameroilla huomattavasti filmikameroita parempi. Testissä käytettiin harmaasävykiilaa ja digitaaliset kameroiden kuvissa sävyt toistuivat lineaarisesti ja sävyjä kyettiin erottamaan enemmän. Ongelmia esiintyi, kun kuvattiin korkealta ja valaistusolosuhteet olivat heikot. UltraCamD-kameralla oli ongelmia sinisellä aallonpituudella. Ongelmat johtuivat todennäköisesti kamerassa käytetystä optiikka/suodinyhdistelmästä. DMC-kameralla oli vesialueilla vaikeuksia yhdistää osakuvia lopulliseksi kuvaksi (kuva10).



Kuva9 Sjököllan testikenttä (Iives 2006)



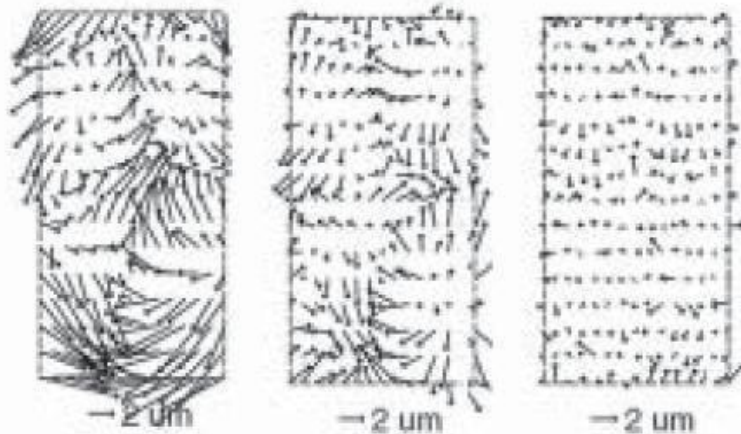
Kuva10 DMC-kuva, jossa osakuvien yhdistäminen epäonnistunut (Iives 2006)

5.4.2 Erotuskyky

Kuvien erotuskykyä tutkittiin siemens-tähden ja viivaparikuvioiden avulla. Matriisikameroiden kuvat muodostetaan useista osakuvista, joita joudutaan uudelleennäytteistämään. Uudelleennäytteistys huonontaa hieman kuvien erotuskykyä, filmikamera olikin useissa tapauksissa digitaalista kameraa parempi. DMC-kameralla pitäisi yhdistelmäkuvalle olla nimellisesti sama maastoresoluutio koko kuva-alalla, mutta todellisuudessa alkuperäinen resoluutio muuttuu kertoimella 1-1.6. Tämä johtuu DMC-kameran rakenteesta, jossa optiikat ovat viistossa toisiinsa nähden. Filmikuvilla on filmistä johtuvaa rakeisuutta, mutta kokonaisuudessaan niiltä erottui testissä käytetyt viivaparit paremmin. Yhtenä vaikuttavana tekijänä olivat kameroiden erilaiset optiikat ja suotimet: filmikameroissa optiikka ja suotimet voidaan vaihtaa kuvaolosuhteiden mukaisiksi, mutta digitaalisissa kameroissa ne ovat kiinteät.

5.4.3 Geometria

Kameroiden geometrista laatua tarkasteltiin tekemällä kuville blokkitasoitukset. Laatu oli filmi- ja digitaalisilla kameroilla samaa luokkaa. Matriisikameroilla ongelmana oli, että kameran rakenteesta johtuen perinteiset laskentaparametrit eivät mallinna kameran sisäisiä virheitä oikein (kuva11). Virheet voidaan kuitenkin mallintaa, koska ne ovat systemaattisia. Monet kaupalliset ohjelmistot eivät kuitenkaan tue näitä lisäparametreja, joka voi aiheuttaa ongelmia. ADS40-kameran kuvien geometrinen laatu on täysin riippuvainen GPS/IMU-datan laadusta. Eli jos GPS-satelliittien geometria on huono, myös kuvien geometria on huono.



Kuva11 DMC-kameran sisäisen geometrian virheet. Vasemmalla ilman korjausparametrejä, keskellä kuvakohtaisilla parametreilla ja oikealla sensorikohtaisilla parametreilla (Ilves 2006)

5.4.4 Muuta

ADS40-kameran käyttämää push-broom-tekniikkaa eivät monet fotogrammetriset ohjelmistot tue, joten ohjelmistopuolella on tapahduttava kehitystä, ennen kuin kuvia voidaan alkaa laajalti käyttää.

Kuvien sävyvaruus piti muuntaa vastaamaan näyttöjen 8 bittiä, muunnos ei kuitenkaan ole triviaali ja se on eri ohjelmistoissa toteutettu eri tavoin, joten myös kuvat näyttävät eri ohjelmissa erilaisilta

Lentonopeuden kanssa oli ongelmia ADS40- ja DMC-kameroita käytettäessä. Nopeutta piti pudottaa niin paljon, että lentäminen vaikeutui. Myöätäessä jotkut matalakuvaukset eivät onnistuneet lainkaan. Toinen osaltaan lentämiseen liittyvä ongelma oli digitaalisten kameroiden filmikameraa pienempi kuva-ala. Pienestä kuva-alasta johtuen piti digitaalisilla kameroilla ottaa enemmän kuvia ja lentää useampia jonoja, jotta päästään samaan peittoon kuin filmikameralla. (Ilves 2006)

6 Yhteenveto

Digitaaliset kamerat ovat korvanneet filmikamerat monissa projekteissa, mutta vielä niiden käyttö ei ole ongelmaton. Kameroilta puuttuu yhteiset, hyväksytyt laatu- ja kalibrointimenetelmät. CCD-sensorien koon kasvaessa päästään matriisi-kameroissa yksinkertaisempaan rakenteeseen ja aikanaan tullaan varmasti kehittämään kameroita, jotka saavuttavat perinteisen filmikameran kuva-alan yhdellä matriisilla. Leicalta ja Vexceliltä on tullut markkinoille uudet kameramallit, jotka ainakin lupaavat parantunutta kuvanlaatua. Filmikamerat eivät kuitenkaan tule vielä kokonaan poistumaan markkinoilta, vaikka suuntaus digitaalisiin kameroihin on vahva.

Lähteet

Ahokas, E. Digitaaliset ilmakuvasektorit 200x

Saatavissa:

http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswww/dig_cam.html

Haggrén, H ja Honkavaara, E. 2002/2005 Fotogrammetrisen kartoituksen (Maa-57.220)

luentomoniste. Saatavissa: http://foto.hut.fi/opetus/220/luennot/luennot_2005.htm

Heipke, C ym. 2006. Editoria 361-362. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60/2006

Ilves, R. 2003. Digitaaliset ilmakuvakamerat. Maanmittaustieteiden seuran julkaisu 40

Saatavissa: <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/ilves.pdf>

Ilves, R. 2006. Ensimmäisen sukupolven digitaaliset ilmakuvakamerat testissä.

Maankäyttö 3/2006 19-22. Saatavissa:

http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk306/mk306_946_ilves.pdf

Schenk, T. 1999. Digital Photogrammetry Volume I., TerraScience, USA

Vilhomaa, J. 2005. Digitaaliset ilmakuvakamerat testissä. Maankäyttö 4/2005.

Wolf, P. ja Dewitt. B. 2000. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. McGraw-Hill, USA.

Kameroiden valmistajien kotisivut (13.4.2007)

<http://www.leica-geosystems.com>

<http://www.intergraph.com>

<http://www.vexcel.com/>