



Risto Ilves

# ENSIMMÄISEN SUKUPOLVEN digitaaliset ilmakuvakamerat TESTISSÄ

Petri Leiso

Risto Ilves

**Maanmittauslaitos on testannut suuriformaattiset digitaaliset ilmakuvakamerat. Testattavana ovat olleet Vexcel UltracamD, Z/I Imaging DMC ja Leica ADS40. Kuvien tieteellisistä analyyseistä on vastannut Geodeettinen laitos.**

## TESTILENNOT SUORITETTIIN

MML:n Rockwell Turbo Commander 690A -lentokoneella vuosina 2004 ja 2005, minkä jälkeen on suoritettu kattava analyysi testien tuloksista. Testeissä tutkittiin kuvien ominaisuuksia (geometrisen tarkkuus, radiometrinen laatu, erotuskyky) ja järjestelmien tuotannollisuutta. Testit suoritettiin käytännön syistä erillisinä

ajankohtina, joten kuvaolosuhteet olivat erilaiset eri testeissä. Vertailua varten koneeseen oli samanaikaisesti asennettuna myös perinteinen filmikamera (Leica RC20).

### **Riometrisen laatu osittain erinomainen, mutta myös ongelmia esiintyi**

Digitaalisten kuvien radiometristä laatua tutkittiin harmaasävykiilan (kuva 1) avulla. Digitaaliset sensorit selviytyivät tästä testistä filmikameraan verrattuna huomattavasti paremmin. Harmaasävykiilan sävyt toistuivat lineaarisesti ja sävyjä pystyttiin tunnistamaan enemmän. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esim. rakennusten varjoista nähdään kohteita, joita ei voi filmikuvilta erottaa.

UltraCamD-kamerassa oli ongelmia sinisellä aallonpituudella. Ilmeisesti vika oli kamerassa käytetyssä optiikka/suodinyhdistelmässä, mistä johtuen sinisen aallonpituuden värit käyttäytyivät oudosti. Kamerassa on testin jälkeen otettu käyttöön uusi sininen suodin.

UltraCam-kamerasta on tänä keväänä ilmestynyt uusi versio, UltraCamX, jossa on muutettu myös optiikkaa. UltraCamin kehittämisessä saattaa jatkossa tapahtua suuriakin muutoksia, koska Microsoft on ostanut Vexcel-yhtiön.

Riometrisia laatuongelmia esiintyi erityisesti, kun kuvattiin korkealta huonoissa valaistusolosuhteissa (kuva 2). Digitaalisia kameroita on markkinoitu sanomalla, että kuvausaikaa voidaan jatkossa pidentää, mutta näiden testien perusteella tämä on kyseenalaista.

Ongelmia oli myös matriisikameran osakuvien yhdistämisessä (kuva 3).

### **Erotuskyky vaihteli lentosuunnasta ja sijainnista riippuen**

Kuvien spatiaalista erotuskykyä tutkittiin viivaparikuvioiden ja Siemens-tähden avulla (kuva 1). Matriisikameroissa (DMC ja UltraCamD) lopulliset kuvat muodostetaan usean CCD-kennon yhdistelmänä (kuvat 4 ja 5). Matriisikamerassa kuvien yhdistäminen tapahtuu mosaikoimalla, jolloin alkuperäisiä kuvia joudutaan



**KUVA 1.** Sjököllan testikenttä. Tutkimuksessa käytetyt testikuviot: 1) viivaparit erotuskyvyn mittaamiseen 2) harmaasävykiila 3) Siemens-tähtikuvio.



**KUVA 2.** Korkealta heikoissa valaistusolosuhteissa otettu UltraCamD-kuva. Kuvan reunoilla näkyy suuria ongelmia erityisesti sinisellä aallonpituudella. Vastaava ilmiö näkyy heikompana myös paremmissa valaistusolosuhteissa. Tämä johtunee kamerassa käytetystä optiikka/suodinyhdistelmästä, jota on sittemmin parannettu.



**KUVA 3.** DMC-kuva Utöstä. Matriisikameran osakuvien yhdistämisessä ilmeni paikoittain ongelmia vesialueella kuvattaessa.

uudelleennäytteistämään (resampling). Tämä huonontaa hieman kuvien erotuskykyä verrattuna alkuperäisiin raakakuviin. Useissa tapauksissa erotuskyky lopullisilla kuvilla oli filmikameraa heikompi.

Digitaalisilla kuvilla oli huonompi erotuskyky lentosuunnassa kuin poikittainen lentosuuntaa kohden. Filmikuvilla ei ollut vastaavaa eroa lentosuuntaan verrattaessa.

DMC-kameran optiikat on sijoitettu viistosti toisiinsa nähden, joten erotuskyky oli huonompi kuvan reuna-alueilla, koska todellinen maastoresoluutiokin on huonompi kuvan reunoilla. Lopullisella ”virtuaalisella” yhdistelmäkuvalle on sama nimellismaastoresoluutio koko kuvialalla, mutta todellisuudessa alkuperäinen resoluutio muuttuu kertoimella 1–1.6.

Filmikuvissa oli enemmän kohinaa filminrakeisuudesta johtuen, mutta silti filmikuvilta erottui tarkemmat viivakuviot (kuva 6). UltraCamD-kameran kohdalla tämä johtunee osittain kameraripustuksessa olleista ongelmista.

Pitää myös muistaa, että optiikan ja suotimen merkitys on aina tärkeä, oli sitten kyseessä filmi- taikka digitaalinen kamera. Testatuissa kameroissa optiikat ja suotimet olivat kiinteitä. Sen sijaan filmikameran optiikka ja suodin voidaan vaihtaa kuvien käyttötarkoituksen ja kuvaolosuhteiden mukaisesti.

### Geometrinen laatu hyvä

Geometrinen laatua analysoitiin blokkitasoisuuden avulla. Testit osoittivat, että kameroilla saavutetaan yhtä hyvä tarkkuus kuin filmikamerallakin. Myös joitakin erityisiä ongelmia nousi esiin. Matriisikameroiden erikoisesta rakenteesta johtuen perinteiset laskentaparametrit eivät mallinna kameran sisäisiä virheitä oikein (kuva 7). Virheet ovat kuitenkin systemaattisia, joten ne ovat mallinnettavissa. Läheskään kaikki kaupalliset ohjelmistot eivät kuitenkaan vielä tue sellaisia parametreja, joilla nämä virheet saataisiin poistettua.

ADS40-kameralla geometrinen laatu on täysin sidoksissa GPS/IMU-ratkaisuun. Jos kuvauksessa on ongelmia esim. huonon GPS-satelliittigeometrian takia, niin silloin myös lopullisten kuvien geometrinen tarkkuus kärsii.

### Ohjelmistojen tuki puutteellinen

Leican ADS40-rivikameran geometria perustuu satelliiteista tuttuun pushbroom-tekniikkaan. Läheskään kaikki fotogrammetriset ohjelmat eivät kuitenkaan

vielä tue ADS40 sensorimallia, joten kuvia ei voida laajasti käyttää ennen kuin ohjelmistoja kehitetään.

Digitaalisten kameroiden kuvat tallennetaan yleensä 16-bittiseen kuvaformaattiin (sävyalue kattaa normaalisti n. 10–12 bittiä). Näytöt puolestaan toimivat 8 bitin sävyvaruudessa, joten kuvien sävyille pitää tehdä muunnos, jotta ne näkyvät hyvin näytöllä. Tämä sävymuunnos ei ole kuitenkaan aivan triviaali ja muunnos on toteutettu eri ohjelmistoissa eri tavoilla. Tästä syystä myös sävyt näyttävät hyvin erilaiselta riippuen siitä, missä ohjelmassa kutakin kuvaa tarkastellaan.

### Lentämisessä ongelmia

MML:n lentokone on varsin nopea ja tämä aiheutti ongelmia ADS40- ja DMC-kameroiden kanssa. Jotta kuville saatiin tarpeeksi pitkä valotusaika, piti lentonopeutta pudottaa huomattavasti. Tämä puolestaan vaikeutti lentämistä (kuva 8). Jotkut matalakuvaukset eivät onnistuneet lainkaan myötätuuleen kuvattaessa.

Kameroiden kuva-ala on pienempi kuin perinteisillä filmikameroilla. Tästä johtuen myös lentämistä tulee enemmän, koska alueelle joudutaan tekemään useampi lentojono.

### Maanmittauslaitos ei ole vielä hankkinut digitaalista ilmakuvakameraa

MML:n arvion mukaan DMC-kameran kuvanlaatu oli testissä paras. Testissä ilmenneiden ongelmien vuoksi MML ei ole kuitenkaan vielä hankkinut digitaalista kameraa.

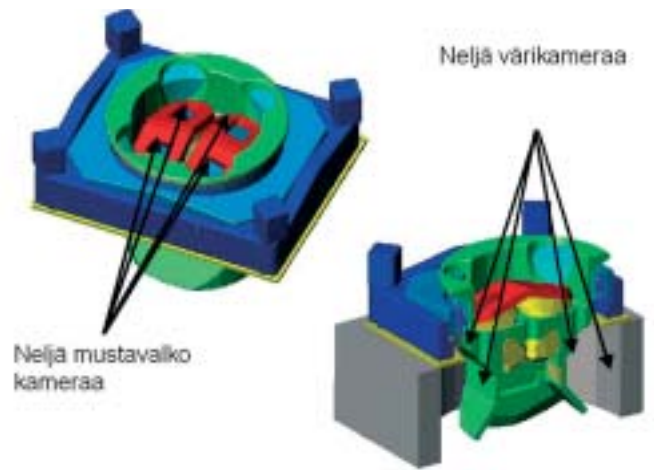
MML ei ollut tyytyväinen UltraCamD-kuvien laatuun. DMC- ja ADS40-kameroiden operoinnissa oli suurimmat ongelmat lentonopeuden kanssa. ADS40-kameran tuottama kuvaformaatti on sellaista, että sitä ei pystytä laajasti hyödyntämään nykyisissä ohjelmistoissa.

Stereomallien laadussa ADS40 jää matriisikameroista jälkeen, koska ADS40 kerää kunkin värin ainoastaan yhdellä rivisensorilla. Stereomallit muodostetaan siten, että toiselle silmälle näytetään värikuvaa ja toiselle silmälle näytetään mustavalkokuvaa. Lisäksi rivikamera ei ole geometrisesti yhtä stabiili kuin matriisikamera.

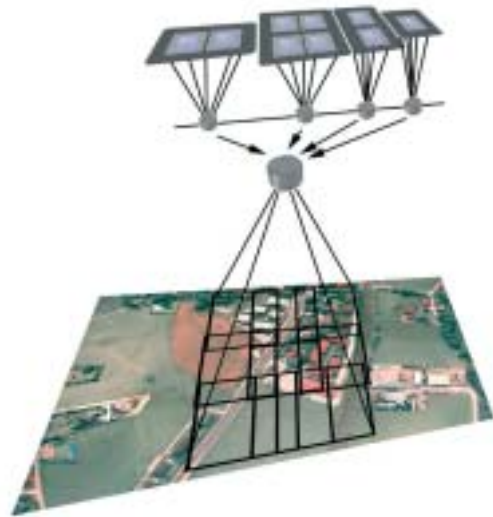
DMC-kameran operoinnissa oli lentonopeuden lisäksi toivottavaa navigointijärjestelmässä sekä levyjärjestelmässä (kuva 9). Kuva-ala ei myöskään kata filmikameran alaa, joten lentolinjoja muodostuu enemmän lennettäväksi kuin filmikameralla. Tämä taas on ongelma, koska hyviä lentopäiviä on Suomessa vähän ja lentämisen määrää ei voida helposti lisätä.

### Tulevaisuus on digitaalinen

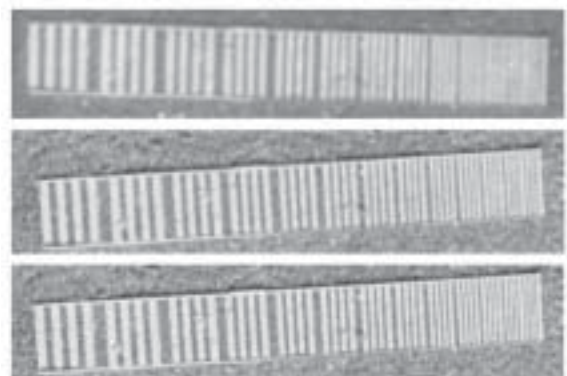
Ilmakuvien laatu tulee digitaalisten kameroiden mukana parantumaan, mutta täysin



**KUVA 4. DMC-kameran rakenne. Mustavalkokuva muodostuu neljän CCD-sensorin tuloksena. Väri-informaatio kerätään huomommalla resoluutiolla ja tarkempi värikuva saadaan aikaiseksi käyttämällä pansharpening-tekniikkaa.**



**KUVA 5. UltraCamD-kuva muodostuu useasta osakuvasta.**



**KUVA 6. Viivaparikuvioita samalta lennolta. Ylin kuva on UltraCamD 4 cm:n maastoresoluutiolla. Keskimmäinen on RC20-kuva, joka on skannattu 20 mikrometrillä ja alin RC20-kuva on skannattu 10 mikrometrillä. RC20-kuvilla on enemmän kohinaa filmistä johtuen, mutta kuvilta erottuu silti tarkemmat viivaparit. Honkavaara et al., 2005.**

virheettömiä eivät nämäkään kuvat ole. Digitaalisen kamerailta puuttuu tässä vaiheessa vielä yleisesti hyväksytyt laatu- ja kalibrointimenetelmät. EuroSDR tekee tutkimusta tällä alueella, jotta digitaalisten kameroiden ominaisuudet saataisiin yhteneväisesti mitattua. Tämä työ tulee edistämään myös kameroiden käyttöönottoa, koska tällöin kameroiden ominaisuudet ovat yleisesti tiedossa.

Myös pienempiformaattisten kameroiden käyttö yleistyy. Näitä kameroita voidaan käyttää lähinnä pienemmissä projekteissa. MML:n käyttöön ne eivät sovellu, koska lentoaika muodostuisi liian suureksi ja kameroista puuttuu kuvaliikkeen kompensointi.

Yksittäisten CCD-sensorien koko kasvaa ja DALSA on jo tehnyt 10 000 × 10 000 pikselin CCD-matriisin (100 megapikseliä). Suurempien CCD-kennojen kautta päästään kamerassa yksinkertaisempaan rakenteeseen, jolloin useat edellä esitetyistä matriisikameroiden ongelmista poistuvat. Tällä hetkellä suuriformaattisiin yhteen CCD-kennoon perustuva kamera (Bae Systemsin 9 000 × 9 000 pikselin kamera) on ainoastaan sotilaallisessa käytössä.

Maanmittauslaitos seuraa mielenkiinnolla digitaalisten ilmakuvakameroiden kehitystä ja tulee sellaisen hankkimaan, kun näkee hankinnan järkeväksi.

**Kirjoittaja on DI ja työskentelee Maanmittauslaitoksen Ilmakuva-keskuksessa kehittämistehtävissä.  
Sähköposti  
risto.ilves@maanmittauslaitos.fi.**

### TIETEELLISIÄ TUTKIMUKSIA TESTILENNOISTA

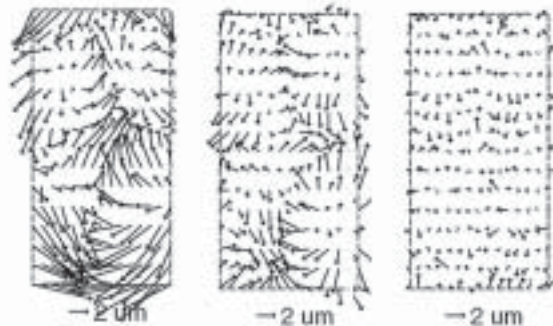
Markelin et al., 2005. Radiometric quality comparison of UltraCam-D and analog camera. ISPRS Workshop: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, Germany.

Honkavaara et al., 2005. In-flight performance evaluation of digital photogrammetric sensors. ISPRS Workshop: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, Germany.

Honkavaara et al., 2006a. Complete photogrammetric system calibration and evaluation in the Sjöckulla test field – case study with DMC, Proceedings of EuroSDR Commission I and ISPRS Working Group 1/3 Workshop EuroCOW 2006.

Honkavaara et al., 2006b. Evaluation of resolving power and MTF of DMC. Proceedings of ISPRS Commission I, Pariisi 2006.

Honkavaara et al., 2006c. Theoretical and empirical evaluation of geometric performance of multi-head large format photogrammetric sensors. Proceedings of ISPRS Commission I, Pariisi 2006.



**KUVA 7. DMC-kameran sisäisen geometrian virheet. Vasemmanpuolinen kuva on laskettu ilman lisäparametreja, keskimmäisessä on käytetty koko kuvalle samoja parametreja ja oikeanpuoleisessa on käytetty sensorikohtaisia parametreja. Sensorikohtaisia parametreja ei ole yleisesti käytössä nykyisissä ohjelmistoissa. Honkavaara et al., 2006c.**



Petri Leiso

**KUVA 8. ADS40- ja DMC-kameratesteissä jouduttiin ottamaan laskutelineet ulos, jotta pystyttiin lentämään tarpeeksi hitaasti. Kamerrat vaativat hidasta lentonopeutta, jotta saadaan aikaiseksi riittävän pitkä valotusaika.**



**KUVA 9. Leica RC20 -kamera ja DMC-kameran levyjärjestelmä rinnakkain. DMC-kameran kuvat tallentuvat kolmelle erilliselle levyille, jotka kaikki tarvitaan datan purkamisessa. Levyjen siirto ja käsittely on siis massiivista touhua.**