

Maa-57.290 Fotogrammetrian erikoistyö

Corona-kuvan oikaisu karttaprojektioon

2003

Hanne Junnilainen

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	3
2	CORONA-KUVAT	3
2.1	Kuvausalusta ja lentorata	4
2.2	Kamera	4
2.3	Erotuskyky	5
2.4	Kattavuus	5
2.5	Nykyiset sovellukset	5
3	CORONA-KUVAN SKANNAUS	6
4	KUVAN GEOMETRINEN KORJAUS: OIKAISU KARTTAPROJEKTIOON	7
4.1	Oikaisun vaiheet	7
4.2	Tukipisteistö	8
4.3	Polynomi-muunnos	8
4.4	Thin Plate Spline –muunnos	9
4.5	Harmaasävyjen interpolointi	11
5	KUVIEN KÄYTTÖ	11
5.1	Stereokuvapari	11
5.2	Alkuperäisen ja skannatun kuvan vertailu	12
5.3	Corona- ja KVR-1000-kuvien vertailu sekä muutosanalyysi	12
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	15

LÄHTEET

1 Johdanto

Corona, Argon ja Lanyard olivat USA:n ensimmäisiä operatiivisesti toimineita kuvaavia tiedustelusatelliittijärjestelmiä. Tiedustelukäytön näkökulmasta näistä tärkein oli Corona, jonka alueellinen erotuskyky parani vuosina 1960–72 tehtyjen lentojen aikana noin kahteen metriin. Argon oli Corona-järjestelmän kanssa rinnakkain kartoituskäyttöön kehitetty karkeamman resoluution kuvausjärjestelmä, ja lyhytikäinen Lanyard oli yritys kehittää tarkemman erotuskyvyn kuvia tiedustelutehtäviin. (McDonald 1997b.) Kuvat vapautuivat yleiseen käyttöön helmikuussa 1995 presidentti Clintonin allekirjoitettua määräyksen Corona-, Argon- ja Lanyard-kuvien julkaisemisesta (McDonald 1997c).

12 vuotta ennen Landsatin laukaisua hankitut ensimmäiset Corona-kuvat mahdollistavat maapallon tarkkailun siviilikäyttöön hankittuja satelliitikuvia pidemmälle ajalle ja tarkemmalla resoluutiolla. Corona-kuvat kattavat laajoja maantieteellisiä alueita ja samoja alueita on kuvattu toistuvasti. (McDonald 1997d.) Pääosalta lennoista on saatavilla myös stereokuvia (McDonald 1997a, s. 306).

Tämän erikoistyön tarkoituksena oli oikaista osakuva (80km²) yhdestä Corona-kuvasta karttaprojektioon Jordanian alueelta Petrasta. Oikaisu onnistui parhaiten Thin Plate Spline -muunnosta käyttäen. Oikaisuun tarvittava tukipisteistö kerättiin vuonna 2000 otetulta venäläiseltä KVR-1000-ortokuvalta ja samaa kuvaa käytettiin alueen muutosten analysoinnissa.

2 Corona-kuvat

Vaikean alun jälkeen Corona-järjestelmä kuvasi 12.8.1960–24.5.1972 suuren osan maapallon maa-alueista 95:n onnistuneen avaruuslennon aikana (McDonald 1997a, s. 305), (McDonald 1997b).

Kuvien ensijainen käyttötarkoitus oli tiedustelu, mutta Corona-kuvista tuli 60-luvun aikana tärkeitä myös Yhdysvaltojen hallituksen kartoitusorganisaatioiden käytössä. Kuvaustavan aiheuttamista ongelmista huolimatta, reilun vuosikymmenen aikana, nämä organisaatiot kartoittivat noin 1/6-osan maapallon maapinta-alasta keskisuureen mittakaavaan. Kartoittaminen tehtiin yhdessä geodeettisesti tarkempien karkean resoluution Argon-kuvien kanssa. (Baclawski, 1997.)

Julkaisemisen jälkeen kuvien kopiot ovat olleet saatavilla U.S. Geological Survey:n EROS Data Center:n (EDC) kautta mustavalkoisina filminegatiiveina ja -positiiveina, paperitulosteina sekä suurennoksina jäljentämisen kustannusten hinnalla. EDC:n kotisivujen Global Land Information System:n (GLIS) kautta voi selailta saatavilla olevia kuvia karkean resoluution kuvina sekä kuvauksiin liittyvää metadattaa. (Scholz 1997.)

2.1 Kuvausaluista ja lentorata

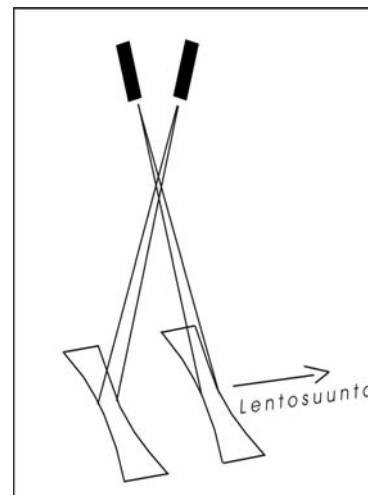
Corona-lennot lennettiin Agena-sarjan avaruusaluksella melkein polaariradalla (Powell 1997). Sukkulan lentokorkeus vaihteli lennoittain ja kiertoradan eri osissa 150–820 kilometrin välillä, mutta pääosa lennoista tapahtui 150–204 kilometrin korkeudessa (McDonald 1997a, s.305).

Corona, Argon ja Lanyard olivat filmin palauttavia järjestelmiä. Kapselissa ollut filmi otettiin kiinni lentokoneella ilmasta käsin. (Powell 1997.)

2.2 Kamera

Analogiset Corona-kamerat kehittyivät nopeasti 12 metrin erotuskyvyn saavuttaneista panoraamakameroista stereokuvia ottaviin 1,8 metrin erotuskyvyn kahden panoraamakameran järjestelmiin. Samalla kameran toiminnan luotettavuus parani ja yhden päivän avaruuslennot pidentyivät 19 päiväisiksi. (McDonald 1997b.)

Ensimmäiset Corona-sarjan kamerat KH-1, KH-2 ja KH-3 olivat lentosuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa 70 asteen avauskulmalla keilanneita panoraamakameroita. Kameran avauskulma lentosuunnassa oli 6 astetta ja polttoväli 61 cm. KH-4, KH-4A ja KH-4B olivat kahdesta KH-3-kamerasta kehitettyjä kahden kameran järjestelmiä (kuva 1). Näistä ensimmäisen kameran katselukulma oli 15 astetta vertikaalista taaksepäin ja toisen 15 astetta eteenpäin. Näin saatiin lentoradan suunnassa otettuja stereokuvapareja 30 asteen konvergenttikulmalla. (McDonald 1997b), (Smith 1997.)



Kuva 1. Corona-kamera (KH-4, KH-4A ja KH-4B). Stereopeitto saadaan kuvaamalla sama alue ensin jälkimmäisestä kamerasta eteenpäin, sitten ensimmäisestä kamerasta taaksepäin.

Lisäksi myöhemmillä lennoilla oli mukana toissijaisia kameroita panoraamakameran asennon ja avaruusaluksen tarkkojen kiertojen määrittämiseen sekä kuvien indeksointiin (McDonald 1997b).

Corona-kameran matemaattinen kameramalli on rakennettu kuvien kattavuusalueiden määrittämiseksi ja on esitelty artikkelissa (Selander, 1997). Schneider et al. (2001) käsittelevät Corona-kuvien geometrisiä ominaisuuksia ja panoraamakuvauksesta johtuvien virheiden korjaamista.

2.3 Erotuskyky

Coronan harmaansävykuvien alueellinen erotuskyky parani ohjelman aikana 12:sta 1,8 metriin. Joissain tapauksissa sarjan viimeinen KH-4B-kamera ylsi jopa 1,4 metrin erotuskykyyn. (McDonald 1997b.) Keilaamisesta johtuen Corona-kuvan mittakaava ja erotuskyky vaihtelevat kuvan eri osissa nadiirikulmasta riippuen (Schneider et al. 2001). Filmin erotuskyky oli aluksi 50–100 l/mm ja kehittyi 160 l/mm:n. Parhaimmillaan 5,5 x 74,5 cm:n kokoinen Corona-filmi voidaan suurentaa melkein 40 kertaisesti mittakaavaan 1:7500. (McDonald 1997, s. 306.)

Vain rajoitetuilta alueilta ja kokeiluluontoisesti otettujen väri- ja infrapunakuvien alueellinen erotuskyky on 6–9 metriä (McDonald 1997d).

2.4 Kattavuus

Corona-kuvia otettiin yli 800 000 kpl yhden KH-4B-kuvan peittäessä maanpinnalta 16 x 217 km kokoisin alueen (Baclawski 1997), (McDonald 1997, s. 306). Kaikkiaan kuvat kattavat noin 1750 miljoonaa km², mistä noin 95% on Yhdysvaltojen alueen ulkopuolelta. Samoja alueita on kuvattu toistuvasti ja varsinkin ensimmäisillä lennoilla ensijainen päämäärä oli silloisen Neuvostoliiton alue. Noin 50 % kuvista on pilvisyyden häiritsemiä. (McDonald 1997b.)

2.5 Nykyiset sovellukset

Corona-kuvia voidaan käyttää muutoksen tunnistamiseen, määrittämiseen sekä ennustamiseen. Erityisesti 60-luvun jälkeen ihminen on vallannut paljon uusia alueita ja muuttanut maanpintaa. (McDonald 1997d.) McDonald (1997d) ehdottaa kuvien käyttöä mm. kasvillisuuden, aavikoitumisen ja maankäytön muutoksen seurannassa, väestönkasvun ja kaupungistumisen vaikutusten analysoinnissa sekä arkeologian ja historian tehtävissä.

Corona stereokuvia on käytetty digitaalisen korkeusmallin valmistamiseen ja ortokuvan tuottamiseen (Schmidt et al, 2001), (Schneider et al., 2001). Tarkoituksena on ollut kehittää helppo ja edullinen menetelmä nykyisiä tarkemman korkeusmallin hankkimiseen alueilta, mistä se on muutoin vaikeaa tai mahdotonta (Schmidt et al., 2001). Schneider et al. käyttivät korkeusmallin muodostamiseksi automaattiseen yhteensovitukseen perustavaa DPCOR-ohjelmaa ja saavuttivat korkeusmallin suhteellisen tarkkuuden +/- 5 metriä. Tutkimuksen tarkoituksena oli seurata eroosion aiheuttamia muutoksia Kiinassa, niin korkeusmallia kuin Corona-kuvien tulkintaakin hyväksikäyttäen. (2001) Schmidth et al. muodostivat digitaalisen korkeusmallin hahmontunnistusta yhteensovituksessa ja tukipisteitä parametreinä käyttävällä VirtuoZo 3.1-ohjelmalla. Näin saavutettiin 20 metrin suhteellisen tarkkuus korkeudessa ja 9 metrin tarkkuus x- ja y-suunnissa. Korkeusmallin avulla suoritettiin Corona-kuvan orto-oikaisu. (2001)

Tappan et al. käyttivät Argon- ja Corona-kuvia maankäytön ja maaperän muutoksen seurannassa Senegalissa. Argon-kuvien avulla suoritettiin varsinainen maankäytön ja maaperän kartoitus, ja Corona-kuvia käytettiin tarkkaan maaperän tyyppien ja tilan selvittämiseen. Kuvien analysointi tapahtui visuaalisesti, Landsat TM -kuvan toimiessa vertailuaineistona. (2000)

Goossens et al. tutkivat ilmakuvien korvaamista Corona-aineistolla arkeologisten kohteiden kartoittamisessa. Kartoittaminen tapahtui stereokuvaparilta, jonka toiselle kuvalle oli suoritettu toisen asteen muunnos kuvaparin suhteellisten vääristymien korjaamiseksi. Vaikka Corona-kuvat eivät yllä ilmakuvien alueelliseen erotuskykyyn, ne ovat hyvä vaihtoehto erityisesti alueilla, mistä ilmakuvien hankkiminen on vaikeaa tai mahdotonta. Erityisenä etuna arkeologisessa käytössä Goossens et al. näkivät Corona-aineiston edullisen hinnan ja kuvanottohetken ajoittumisen 60-luvulle. (2001)

3 Corona-kuvan skannaus

Corona oli filmille tallentava instrumentti. Nykyisten sovelluksien ja digitaalisen fotogrammetrian käytön kannalta kuvien digitaalinen muoto olisi kuitenkin toivottava. Käyttäen kaupallisia skannereita Corona-kuvat pystytään digitoimaan ilman häviötä informaatioissa suhteessa alkuperäiseen filmipositiiviin. (Leachtenauer et al. 1997.)

Yhdysvaltojen hallituksen eri virastoista koostuva Intelligence Community on kehittänyt kuvan laadun ja tulkittavuuden mittaamiseen National Imagery Interpretability Rating Scale

-mitan (NIIRS), joka perustuu tulkitsijoiden arvioihin. Näiden kriteereiden mukaisesti Corona-kuvia skannatessa ei tapahdu häviötä 4 μm :n pikselikoolla. (Leachtenauer et al. 1997.)

Skannattavat Corona-kuvat tulisi tilata filmiposiiveina (Leachtenauer et al. 1997). Käytössämme olevat filmit ovat kuitenkin negatiiveja, joten ne valotettiin pinnakkaisina positiiveiksi ennen skannaamista. Tässä ei pitäisi syntyä häviötä informaatioissa. Käytössämme olevista tasoskannerista (UMAX PowerLook III) ja dia-skannerista (HP PhotoSmart S20) dia-skannerin tuottama kuva parhaalla resoluutiolla oli selvästi tarkempi radiometrialtaan, joten valitsin sen Corona-positiivien skannaamiseen. Dia-skannerin resoluutio on 2400 dpi eli noin 10,6 μm ja siihen sopiva 35 mm leveä Corona-filmin pala vastaa noin 8,5 kilometriä leveää aluetta maanpinnalla. Skannauksen yhteydessä muutin kokeellisesti skannerin käyttämää valotusaikaa ja terävyyttä: tarkoituksena oli saada kaikki 256 harmaansävyarvoa (8 bittiä) käyttöön mahdollisimman tehokkaasti.

Suurempia alueita skannatessa dia-skanneri on tietenkin epäkäytännöllinen filmikoonsa puolesta. Leachtenauer et al. (1997) vertailevat lyhyesti kaupallisia skannerreita Corona-kuvan skannaamiseksi. Schmidt et al. (2001) vertailevat Corona-kuvan suurennoksen ja filmin suoraa skannaamista korkeusmallin muodostamisen kannalta ja saavuttavat luotettavamman tuloksen suoraan filmiltä skannaten.

4 Kuvan geometrinen korjaus: oikaisu karttaprojektioon

Alkuperäisenä ajatuksena oli orto-oikaista Corona-osakuva alueelta olevan KVR-1000-kuvaan liittyvän korkeusmallin avulla, mutta tämä oli mahdotonta käytössämme olevilla ohjelmilla. Vaikka Corona-kuvat ovat olleet saatavilla vuodesta 1995 asti, niiden normaali käsittelyminen tavallisilla kaukokartoitusohjelmilla ei ole mahdollista (Goossens et al. 2001). Kuvalle suoritettiin oikaisu karttaprojektioon käyttäen PCI:n GCPWorks-ohjelmaa.

4.1 Oikaisun vaiheet

Geometrinen korjaus on kaksivaiheinen:

- Geometrinen muunnos
- Harmaasävyjen interpolointi

Geometriseen muunnokseen kuuluu systemaattisten virheiden poisto sekä oikaisu karttaprojektioon tunnettujen tukipisteiden avulla. (Lillesand ja Kiefer 2000, s. 474-476.)

Analogisena filminä saatavilla olevat Corona-kuvat poikkeavat nykyisistä satelliittikuvista siinä mielessä, että kuvan toimittaja ei korjaa kuvausalueen liikkeestä, maan pyörimisestä tai instrumentista johtuvia systemaattisia virheitä. Erityisesti näin pienen osakuvan ja suurien korkeuserojen alueella päädyttiin kuvan suoraan oikaisemiseen karttaprojektioon, sillä kuvausalueesta johtuvien systemaattisten virheiden poisto ei riittäisi korjaamaan kuvan virheitä.

Suurempia alueita käsiteltäessä panoraamakuvauksesta johtuvien virheiden korjaaminen on suositeltavaa. Schneider et al. mukaan panoraamakuvauksesta johtuvia virheitä Corona-kuviin aiheuttavat keilaaminen sekä sukkulan liike ja maan pyöriminen keilaamisen aikana. Näiden lisäksi maan kaarevuus tulisi huomioida. Corona-kuvan mittakaavaerojen tasaamiseksi Corona-kuva voidaan oikaista tangentialisen tasoon ja muita geometrisiä virheitä käsitellä ylimääräisillä parametreilla. (2001)

4.2 Tukipisteistö

2-D tukipisteet valittiin vuonna 2000 otetulta orto-oikaistulta KVR-1000 harmaansävykuvulta. Tukipisteiden suuren määrän avulla oli tarkoitus kompensoida karttaprojektioon oikaisun heikkoutta suhteessa orto-oikaisuun. Lisäksi mahdollisimman moni tukipisteistä sijaitsi maaston taitekohdissa. Kerättyjä tukipisteitä oli 80 km²:n alueella noin 300 kappaletta ja tarkistuspisteitä noin 100 kappaletta erityisesti Thin Plate Spline -muunnosta varten. Tukipisteiden valintaa eniten vaikeutti ero kuvanottohetkien vuorokaudenajoissa, vaikkakin yksityiskohtaisuutensa ja spektraalisten ominaisuuksiensa puolesta KVR- ja Corona-kuvat sopivat yhteisten tukipisteiden keräämiseen.

4.3 Polynomimuunnos

Polynomimuunnos on laskennallisesti kevyt eriasteisia polynomeja oikaisun muunnosfunktioina käytävä siirtoja, kiertoja ja mittakaavaa mallintava muunnos. Polynomien asteen kasvaessa voidaan mallintaa monimutkaisempia tapauksia, mutta korkean asteen polynomeja on kuitenkin syytä välttää, sillä laskenta-aika kasvaa ja muunnos voi vääristää kuvaa tukipisteittömillä alueilla. (PCI GCPWorks On-line Help, Polynomial Transformations.)

Tämän kuvan tapauksessa eriasteiset polynomimallit eivät riittäneet korjaamaan erityisesti maaston topografiasta johtuneita virheitä. Oikaisun virhe oli jo tukipisteiden kohdalla pahimmillaan yli 100 metriä.

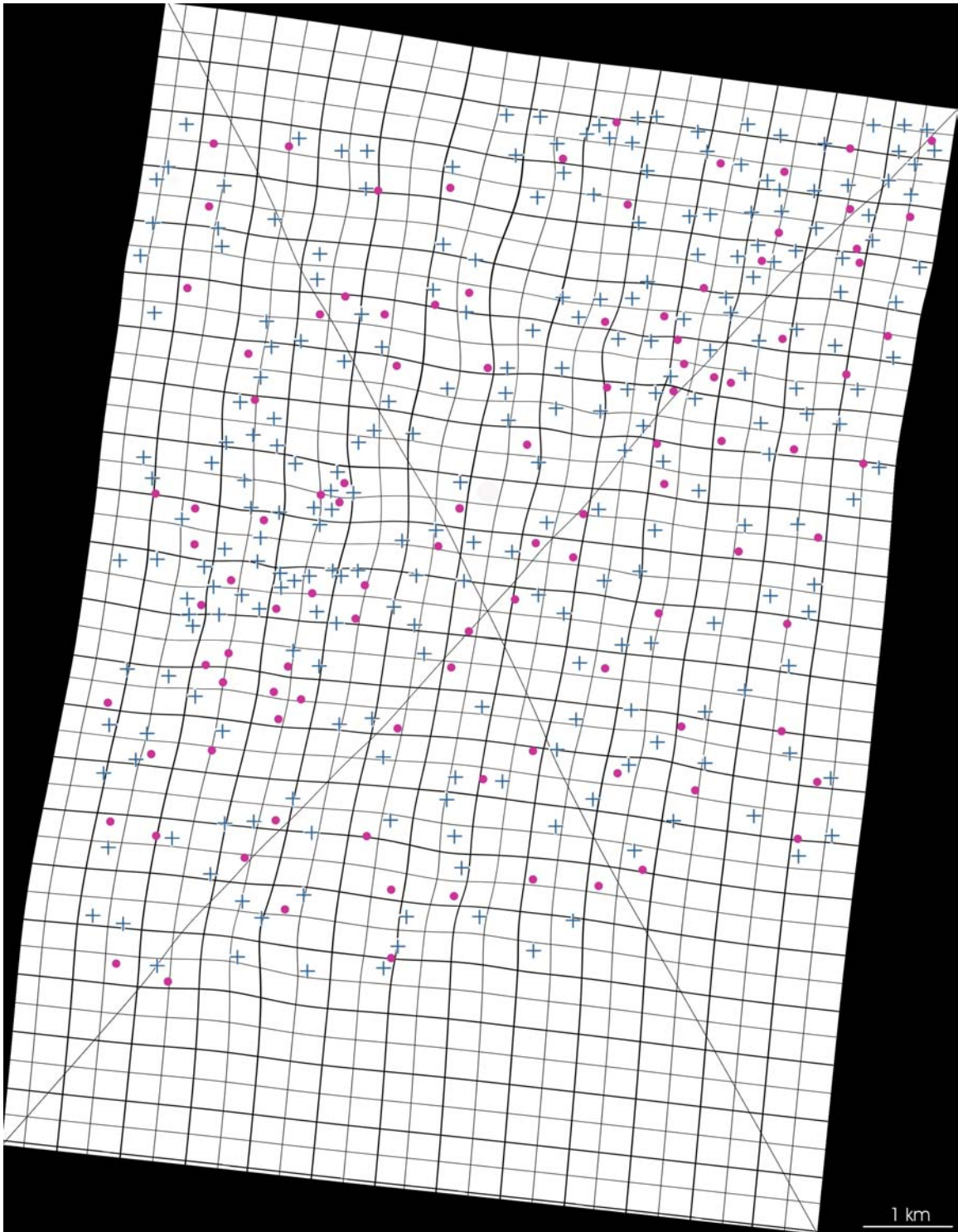
4.4 Thin Plate Spline -muunnos

Thin Plate Spline -muunnos on polynomimuunnoksen tavoin globaali eli kaikkia tukipisteitä käytetään yhdenaikaisesti muunnoksen laskennassa, mutta johdetuilla funktioilla on pienin mahdollinen kaarevuus tukipisteiden välillä ja ne ovat lähes lineaarisia kaukana tukipisteistä. Yhden tukipisteen vaikutus on paikallinen ja vähenee nopeasti etäisyyden kasvaessa tukipisteestä. (PCI GCPWorks On-line Help, Thin Plate Spline.)

Thin Plate Spline -muunnoksen yksi huono ominaisuus on se, että tukipisteitä täytyy hankkia kaikista maaston taitekohdista muunnoksen onnistumiseksi. Samalla muunnoksen laskenta-aika voi kasvaa kohtuuttomaksi. Muunnos myös toistaa tukipisteiden arvot tarkasti, eikä näin tarjoa suoraa mahdollisuutta virheiden havainnointiin ja korjaamiseen. Tästä syystä alueelta tulee kerätä itsenäisiä tarkistuspisteitä muunnoksen oikeuden varmistamiseksi. Suositeltava tarkistuspisteiden määrä on puolet tukipisteiden määrästä. Thin Plate Spline -muunnosta ei myöskään suositella maastovirheen korjaamiseen. (PCI GCPWorks On-line Help, Thin Plate Spline.)

Kuvan oikaiseminen Thin Plate Spline -muunnoksella onnistui huomattavasti polynomimuunnosta paremmin. Vaikka muunnosta käytettiin ensisijaisesti maastovirheen korjaamiseen, se onnistui tukipisteiden suuren määrän avulla. Tarkistuspisteiden avulla määritetyt virheet tippuivat keskimääräisesti alle 10 metriin. Pahimmillaan paikalliset virheet olivat 40–50 metriä. Tällöin korkeuserot olivat suuria ja sopivia tukipisteitä ei löytynyt maaston taitekohdista. Maastovirheen vaikutusta Corona-kuvilla lisää viisto, konvergentti kuvauskulma.

Kuvassa 2 on esitetty sama Thin Plate Spline -muunnos tehtynä säännölliselle ruudukolle. Korkeuserojen vaikutus on näkyvässä kovalta selvästi ja keilaavan panoraamakuvauksen kuvautumisvirheet peittyvät korkeuserojen aiheuttamien virheiden taakse. Tässä tapauksessa oikaistu kuva oli vain pieni osa yhden panoraamakuvan keskeltä ja alueen korkeuserot ovat suuret.



Kuva 2. Corona-kuvan oikaisuun käytettyä Thin Plate Spline -muunnosta vastaava muunnos tehtynä säännölliselle ruudukolle. Käytetty tukipisteistö näkyy kuvalla risteinä ja tarkistuspisteet ympyröinä.

4.5 Harmaasävyjen interpolointi

Geometrisessa muunnoksessa karttakoordinaatteja vastaavat kuvakoordinaatit osuvat harvoin keskelle alkuperäistä kuvapikseliä, joten harmaansävyt joudutaan määrittämään interpoloimalla (Lillesand ja Kiefer 2000, s.475-476).

Harmaasävyjen interpolointimenetelmänä käytin kuutiokonvoluutiota, missä harmaansävyarvo määritetään 4x4-naapuruston painotettuna keskiarvona (PCI GCPWorks On-line Help, Cubic Convolution). Kuutiokonvoluutiota käytettäessä välttää lähimmän naapurin -menetelmän tuottaman epäyhtenäisyyden ja saa terävemmän kuvan kuin bilineaarisessa interpoloinnissa (Lillesand ja Kiefer 2000, s.476-477).

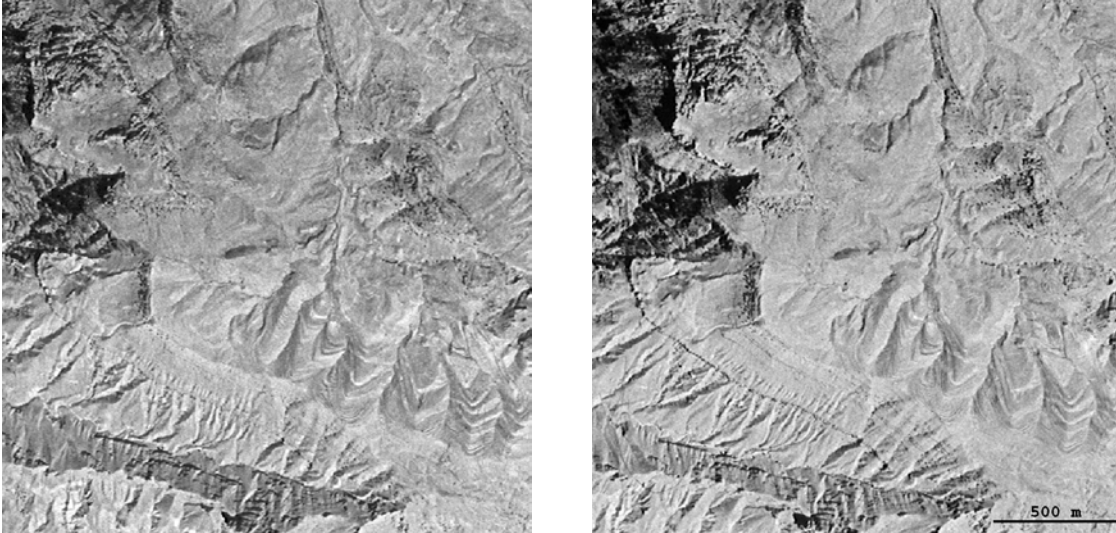
Koska kuutiokonvoluutio-menetelmää käytettäessä harmaansävyarvot muuttuvat, kuvien tulkinta suositellaan tehtäväksi ennen interpolointia (Lillesand ja Kiefer 2000, s.476). Oikaistusta kuvasta ei paljaalla silmällä erota muutoksia kuvan tulkittavuudessa harmaasävyjen interpoloinnin jälkeen.

5 *Kuvien käyttö*

5.1 Stereokuvapari

Käytössämme olevan KH-4A-kameran ottaman stereokuvaparin tarkastelu onnistuu vaivatta ja helpottaa kuvan tulkintaa (kuva 3). Goossens et al. (2001) sen sijaan kokivat vaikeuksia käsittelemättömien Corona-kuvien stereotarkastelussa kuvien mittakaavaeroista ja vääristymistä johtuen.

Corona-stereokuvat on otettu 30 asteen konvergenttikulmassa, mikä vastaa kantakorkeussuhdetta 0,54 eli vertikaalikomponentilla on kaksinkertainen standardi-poikkeama suhteessa vaakakomponenttiin (Schneider et al. 2001).



Data available from U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD

Kuva 3. Stereokuvapari Aaronin vuorelta, kuvakannan ollessa vaakasuunnassa. Sukkula lensi kuvakannan suuntaisesti oikealle, karkeasti etelään. Vasemman puoleinen osakuva on otettu kamerajärjestelmän ensimmäisestä kamerasta taaksepäin kuvaten, ja oikean puoleinen osakuva jälkimmäisestä kamerasta eteenpäin kuvaten.

5.2 Alkuperäisen ja skannatun kuvan vertailu

Alkuperäisen Corona-filmin tarkasteluun tarvitsee valopöydän ja vähintään 40 kertaisesti suurentavan mikroskoopin (Leachtenauer et al. 1997). Alkuperäisessä käytössä kuvatulkinta tehtiin stereo-mikroskoopeilla korkealaatuisilta positiivi pinnakkaisfilmeiltä (Smith 1997). Nykyiset sovellukset ja digitaalisen fotogrammetrian käyttö kuitenkin edellyttävät kuvien digitaalista muotoa.

Skannatessa kuvaa 10 μm :n pikselikoolla tapahtuu häviötä (Leachtenauer et al. 1997), joten käytössämme oleva alkuperäinen filmi kestää suurentamista paremmin kuin skannaamani kuva. Lisäksi eroja tarkkuudessa huomaa pienissä yksityiskohdissa, kuten heikoissa poluissa ja rakennuksissa, mutta erot alkuperäisen ja skannatun kuvan välillä eivät kuitenkaan vaikuta merkittävästi tulkintaan.

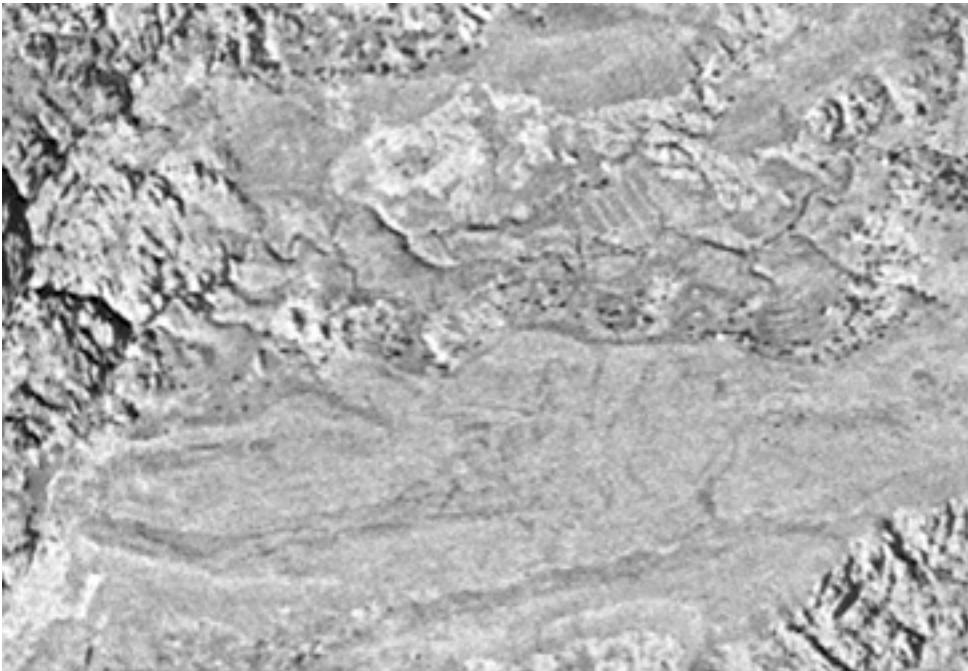
5.3 Corona- ja KVR-1000-kuvien vertailu sekä muutosanalyysi

Oikaistu Corona-kuva on vuoden 1968 syyskuulta ja KVR-1000-ortokuva vuodelta 2000. KH-4A Corona-kuvan alueellinen erotuskyky vaihtelee kuvan eri osissa 3–8 metrin välillä ja KVR-kuvan erotuskyky on 1,5 metriä. Käytössä oleva Corona-kuvan osa on panoraamakuvan keskeltä, missä kuvautumisvirheet ovat pienimmillään ja erotuskyky parhaimmillaan (Schneider et al. 2001).

Corona- ja KVR-kuvan yksityiskohtaisuudessa ei ole paljoa eroa verrattaessa KVR-kuvaa alkuperäiseen Corona-filmiin, mutta skannatun kuvan tapauksessa Corona-kuvaa ei pysty suurentamaan yhtä voimakkaasti. Suuremmat erot tulkittavuudessa syntyvät valaistuksen ja filmin valotuksen eroista kuvan eri osissa. Topografian synnyttämät varjot kuvauksen vuorokaudenaikojen eroista johtuen häiritsevät tulkintaa.

Muutoksen analysointiin valitsin kaksi kohdetta: 60-luvun jälkeen rakennetun beduiinikylän sekä Petran muinaiskaupungin keskustan.

Kahden ensimmäisen kuvan (kuvat 4a ja 4b) kuvanottojen välillä on rakennettu beduiinikylä Umm Sayhun sekä tiestöä kylän ympäristöön. Myös alueen puustossa on havaittavissa lievää vähenemistä.



Data available from U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD

Kuva 4a. Corona-kuva Umm Sayhun, kuvausvuosi 1968.



Kuva 4b. KVR-1000-kuva Umm Sayhyn, kuvausvuosi 2000.

Petran keskustasta olevista kuvista (kuvat 5a ja 5b) voi selvittää 60-luvun jälkeen tehtyjä arkeologisia kaivauksia. Lisäksi KVR-kuvalla näkyvät pohjoisesta rakennettu uusi tie ja museo lähelle kuvan vasenta yläkulmaa. Corona-kuvasta huomaa selvästi, ettei se enää kestä suurentamista, vaikka alkuperäistä filmiä tarkastellessa eroja yksityiskohtien tulkittavuudessa verrattuna KVR-kuvaan ei huomaa. Myös kuvan oikaisun tarkkuus oli tällä alueella keskimääräistä heikompi.



Data available from U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD

Kuva 5a. Corona-kuva Petran keskustasta, kuvausvuosi 1968.



Kuva 5b. KVR-1000-kuva Petran keskustasta, kuvausvuosi 2000.

6 Johtopäätökset

Thin Plate Spline -muunnos toimi tämän Corona-osakuvan oikaisussa karttaprojektioon riittävällä tarkkuudella, mutta tukipisteiden kerääminen varsinkin suuremmalta alueelta olisi työlästä ja samalla laskenta-aika voisi kasvaa kohtuuttomaksi. Laajempaa aluetta oikaistaessa myös panoraamakuvauksen ominaisuudet tulisivat esille. Aina ei myöskään ole käytössä hyvää ortokuvaa tukipisteistön keräämiseen.

Suosittelava, vaikkei välttämättä niin suoraviivainen, menetelmä Corona-kuvan tarkkaan oikaisuun on joko olemassa olevan tai Corona-sterokuvaparilta muodostetun korkeusmallin käyttö kuvan orto-oikaisuun jotain ei-parametristä ohjelmistoa käyttäen. Keskinäisesti orientoidun Corona-stereokuvaparin avulla korkeusmallin muodostaminen pitäisi onnistua niin ikään ei-parametrisellä ohjelmistolla. Tämän jälkeen korkeusmallin ulkoinen orientointi ja orto-oikaisu voidaan suorittaa vähemmällä tukipisteillä.

Oikaistun kuvan alueella korkeuserot olivat merkittäviä, joten tasaisimmilla alueilla myös oikaisu karttaprojektioon voisi onnistua pienemmällä määrällä tukipisteitä, varsinkin jos panoraamakuvautumisen virheet huomioitaisiin ennen oikaisua.

Viiteluettelo

- Baclawski Joseph A. (1997). Corona: The Foundation for a Mapmaking Revolution. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 231-241. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.
- Goossens, R., De Man, J., ja De Dapper, M. (2001). Research to possibilities of Corona-Satellite-data to replace conventional aerial photographs in geoarcheological studies, practised on Sai, Sudan. Ed. Manfred F. Buchroithner. *A decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*, s. 257-262. A.A. Balkema Publishers: Lisse.
- Leachtenauer Jon C., Daniel Kenneth, ja Vogl Thomas P. (1997). Digitizing Corona Imagery: Quality vs. Cost. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 189-203. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.
- Lillesand Thomas M., ja Kiefer Ralph W. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fourth Edition. John Wiley & Sons: New York.
- McDonald Robert A. (1997a). *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.
- McDonald Robert A. (1997b). Corona, Argon, and Lanyard: A Revolution for US Overhead Reconnaissance. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 61-74. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.
- McDonald Robert A. (1997c). The Declassification Decision: Opening the Cold War Sky to the Public. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 169-176. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.

McDonald Robert A. (1997d). Potential New Applications for Declassified Early Satellite Reconnaissance Imagery. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 245-254. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.

PCI GCPWorks On-line Help

Powell Robert M. (1997). Evolution of Standard Agena: Corona's Spacecraft. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 121-132. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA.

Schmidt, M., Goossens, R., ja Menz, G. (2001) Processing techniques for CORONA satellite images in order to generate high-resolution digital elevation models (DEM).
http://www.rsrq.uni-bonn.de/~michael/paper/Schmidt_etal_paris2001.pdf, sivu luettu 1.8.2002.

Schneider, Th., Jacobsen, K., Seitz, R., ja Förster, B. (2001). Remote Sensing Based Parameter Extraction for Erosion Control Purposes in the Loess Plateau of China.
http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2001/Jacobsen/jac_CORONA.pdf, sivu luettu 2.8.2002.

Scholz Donna K. (1997). Declassified Intelligence Satellite Photographs Available from the US Geological Survey. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 205-208. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA

Selander J. Michael. (1997). Image Coverage Models for Declassified Corona, Argon, and Lanyard Satellite Photography – A Technical Explanation. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 177-188. Ed. Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Bethesda, USA

Smith F. Dow. (1997). The Design and Engineering of Corona's Optics. *Corona: Between the Sun & the Earth, The First NRO Reconnaissance Eye in Space*, s. 111-120. Ed.

Robert A. McDonald. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing:
Bethesda, USA

Tappan G. Gray, Hadj Amadou, Wood Eric C., ja Lietzow Ronald W. (2000). Use of Argon, Corona, and Landsat Imagery to Assess 30 Years of Land Resource Changes in West-Central Senegal. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 6, p.727.