

EKSPERIMENT Z METRIČNO KAMERO NA SPACELABU

UVOD

1. Opis eksperimenta

Jeseni leta 1983 je bilo ponovno lasirano vesoljsko plovilo Space Shuttle. Tokrat je s seboj nosilo znanstveni laboratorij Spacelab 1 z opremo za 77 različnih poizkusov s področja biologije, astronomije, astrofizike ter fizike plazme, solarne fizike in kemije. Nosilec celotnega projekta je bila zahodno-nemška firma Messerschmitt-Boelkow-Blohm (MBB/ERNO). Eden izmed eksperimentov je obsegal tudi snemanje z metrično kamero za potrebe kartografije in fotointerpretacije.

Snemanje je bilo opravljeno z višine 250 km pri hitrosti 7,55 km/s relativno glede na Zemljo. Uporabljena je bila modificirana fotogrametrična kamera Zeiss RMK A 30/23, $C_x = 305,128$ mm. Na Kodakov črno-beli in barvni infrardeči film s posnetki formata 23 x 23 cm so bili poslikani pasovi Amerike, Azije, Evrope in Afrike v merilu 1 : 820.000 s 60 odstotnim, deloma tudi z 80 odstotnim preklopom. Posamezni posnetek je na Zemlji pokrival ploskev velikosti 189 x 189 km. V času od 28. novembra do 7. decembra 1983 je bilo za snemanje namenjenih 36 ur. Zaradi meteoroloških okoliščin so program snemanja sproti prilagajali vremenu na Zemlji, tako da sta bili posneti 2/3 načrtovane površine. Celotno snemanje je potekalo popolnoma avtomatsko, vođeno z računalnikom na plovilu. Zagotovljena je bila vertikalnost snemanja na $\pm 0,5^\circ$.

2. Namen eksperimenta

Dejstvo je, da fotografija formata 23 x 23 cm z dobro resolucijo dá 10^9 informacij, medtem ko skanersko in radarsko snemanje zaradi slabe ločilne sposobnosti in geometričnopozicijske netočnosti daša tisočkrat manj informacij o isti površini. Poleg tega je ekspozicija pri fotografiranju trenutna, skaniranje pa je kontinuiran proces. Namen eksperimenta je bil torej ugotoviti primernost fotografskih posnetkov iz vesolja za izdelavo topografskih in tematskih kart v merilih 1:250.000, 1:100.000 in 1:50 000. Na intenzivnih območjih je zanimiva možnost revizije kart v teh merilih, ki naj bi jo ponovili vsakih 5 do 10 let, na neintenzivnih območjih pa poleg tega tudi sama izdelava kart.

Predvidena ločljivost posnetkov na terenu je bila 20 do 30 m, pozicijska natančnost restitucije ± 5 do 10 m in višinska natančnost ± 20 do 35 m. Alternative za izvedenotenje so klasične: aerotriangulacija, izdelava linijske karte, ortofotokarte ali digitalnega modela reliefa.

3. Jugoslovanska udeležba v eksperimentu

Poizkusno izvedenotenje posnetkov iz Spacelaba 1 je ESA (European Space Agency) zaupala več kot stotim organizacijam po vsem svetu. Sodelovanje v Jugoslaviji je organiziral Zavod SR Slovenije za statistiko. Poleg delavcev tega zavoda so dela prevzeli še:

* 61000, YU, Ljubljana, Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FAGG
dipl.inž.geod.
Prispelo za objavo 1984-10-15.

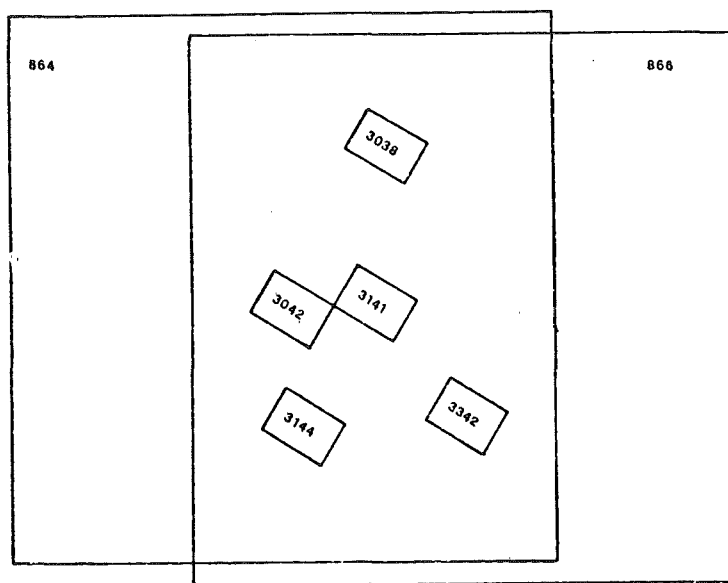
- Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo, Ljubljana - izdelava ortofotokart v merilih 1:100 000 in 1:50 000,
- Geodetski zavod SRS, Ljubljana - fotointerpretacija in uporabnost snemanja za tematsko kartiranje,
- Vojnogeografski inštitut, Beograd - stereokartiranje in izdelava linijske karte v merilu 1:100.000.

IZVEDBA

4. Snemalne okoliščine

Naš del naloge (IGF) smo opravili s črno belima posnetkoma št. 864 in 866 in s petimi topografskimi kartami v merilu 1:50 000 v UTM projekciji, kar nam je poslala ESA/DFVLR Metric Camera Experiment, Paris, Köln. Posneto območje je v okolici Marseilla (Južna Francija) in ima podobne geomorfološke značilnosti kot jugoslovansko ozemlje, ki pa zaradi oblačnosti ni bilo posneto. Omenjena posnetka tvorita stereomodel s 60-odstotnim preklopom. Snemanje je bilo opravljeno 5.decembra 1983 v neugodnih razmerah. Višina sonca je bila samo 15° (ob 9h zjutraj), zato sta ločljivost in kontrast slabša od predvidenega. Poleg tega je bila ekspozicija iz 1/1000 S povečana na 1/550 S, kar je povzročilo 14-metrski premik slike.

Izdelali smo torej ortofotokarto v merilu 1:50 000 za območje topografske karte št. 3342 in 4 ortofotokarte v merilu 1:100 000 (območje topografske karte št. 3342, 3144, 3141, 3042).



Slika 1

5. Vpliv ukrivljenosti Zemlje na izdelavo ortofotokart

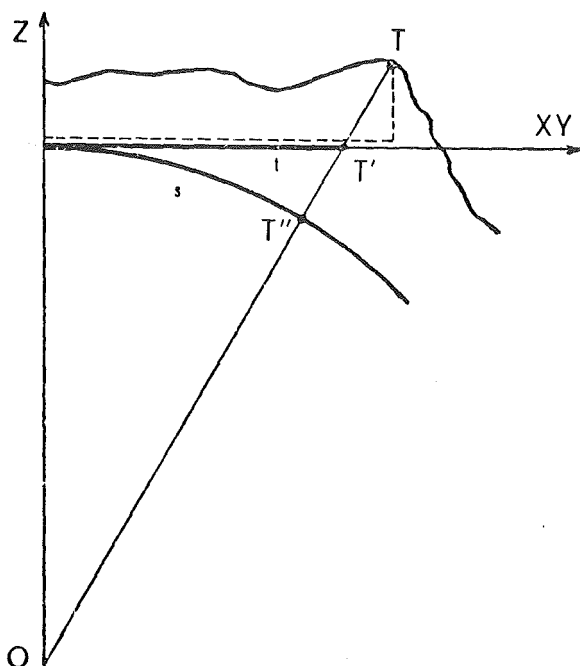
Z ortofotografijo želimo centralno projekcijo snemanja Zemlje - krogle nadomestiti z ortogonalno projekcijo terena v ravnini karte. Pozicijsko orientacijo ortofotografije zadovoljimo z ustreznim številom oslonilnih točk, enakomerno razporejenih po vsem stereomodelu. Dobro situacijsko definirane točke z označeno višinsko koto smo poiskali na karti in na fotopovečavi posnetkov v merilu ca. 1:50 000. Za oslonilne točke smo odčitali s karte UTM koordinate in nadmorske višine. Dobljene UTM koordinate in nadmorske višine moramo transformirati v tridimenzionalni kartezični lokalni sistem XYZ. Ta sistem ima izhodišče v središču stereomodela, njegova XY ravnina pa tangira Zemljo - kroglo. Transformacija poteka od

UTM koordinat glede na srednji meridian UTM cone prek geografskih koordinat φ, λ UTM koordinat glede na lokalni meridian središča modela, sfernih pravokotnih koordinat $\{M\}$ in upošteva nadvorske višine v XYZ koordinate. Ko pridobimo lokalne kartezične koordinate, zadenemo na dve ključni vprašanji grafične točnosti izdelave ortofotonačrta:

- kakšen je vpliv ukrivljenosti Zemlje?
- kakšna je podobnost med XY in prvotnimi (čitanimi) UTM koordinatami?

Prvi odgovor:

Od središča modela potegnimo geodetsko krivuljo (krožni lok) do poljubne točke T" na krogli in ta lok primerjajmo z dolžino centralne projekcije loka na ravnino XY (sl.2).



Slika 2

Pri ortofotokarti v merilu 1:50 000 bo razlika (t-s) presegla grafično točnost 0,1 mm na razdalji $S = 85$ km, v merilu 1:100 000 pa šele na razdalji $S = 105$ km, naše območje pa je bilo v vseh primerih v notranjosti obeh radijev.

Drugi odgovor:

V postopku omenjenih transformacij nastopajo tudi neekvidistantne preslikave, zato neizbežno nastanejo deformacije. Ugotovimo jih s primerjavo razdalj na področju prihodnje ortofotografije, izračunanih v obeh sistemih v različnih smereh. Tudi ta popravek je zanemarljiv glede na grafično natančnost ortofotokarte, zato za orientacijo stereomodela lahko upoštevamo XYZ koordinate takšne, kot smo jih dobili iz transformacij.

6. Izdelava ortofotografij

Ortofotografije so bile narejene na instrumentu Topocart B - Ortophot (Zeiss-Jena) z finim izvrednotenjem (merilo modela po situaciji 1:500 000, po višini 1:800 000). Relativna in absolutna orientacija sta bili opravljeni iterativno z vmesno decentracijo posnetkov. Merilo ortofotografije je bilo 1:200.000 in širina profila 2 mm. Model je bil v avtografu orientiran na že omenjene oslonilne točke z lokalnimi XYZ koordinatami.

Pri orientaciji modela so bili srednji pogreški na 32 oslonilnih točkah takile:

$$m_{XY} = \pm 0,35 \text{ mm v merilu } 1:200\ 000,$$

$$m_Z = \pm 27,0 \text{ m na terenu.}$$

Natančnost je zadovoljiva, vendar ne najboljša. Vzrok je v slabši vidnosti oslonilnih točk na posnetku (slab kontrast). Kot oslonilne točke smo izbirali predvsem križišča cest, ker so le-ta imela določeno višinsko koto na karti. Prometnice pa so bile na žalost komajda na pragu vidnosti.

7. Izdelava ortofotokart

Iz izdelanih ortofotografij v merilu 1:200 000 so bile za štiri karte izdelane ortofotokarte v merilu 1:100 000, za eno pa v merilu 1:50 000. V mejah grafične točnosti (gl. odstavek 5) je bila v ortofotografijo vkopirana UTM mreža z okvirom.

8. Analiza natančnosti izdelave ortofotokart

Na podlagi primerjave kontrolnih točk na ortofotokartah v merilih 1:50 000 in 1:100 000 ter ustreznih topografskih kart so bili izračunani srednji pogreški za posamezne vrste detajla, kot sledi iz tabele. Številke v oklepajih pomenijo število točk.

Merilo ortofotokarte	V r s t a d e t a j l a		
	križišča, mostovi	meje kultur	pritok v reko
1: 100 000	$\pm 0,72 \text{ mm}$ (22)	$\pm 0,43 \text{ mm}$ (40)	$\pm 0,64 \text{ mm}$ (5)
1:50 000	$\pm 1,40 \text{ mm}$ (22)	$\pm 0,80 \text{ mm}$ (40)	$\pm 0,89 \text{ mm}$ (5)

9. Vidnost objektov na ortofotokarti

Vidnost točkovnih, linijskih in ploskovnih elementov ortofotokarte smo ugotavljali iz primerjave s topografsko karto. V obeh obravnavanih merilih je vidnost skoraj ista, in sicer:

Točkovni elementi: Vidna so križišča večjih cest in večji mostovi. Posameznih hiš ne ločimo. Dobro so vidna sotočja rek, tudi manjših, ter manjši otočki in čeri v morju.

Linijski elementi: Dobro so vidne večje reke z njihovimi zavoji in nanesenim prodom. Vidnost je odvisna od kontrasta med vodno površino in okolico. Tako so večinoma dobro vidne tudi manjše reke. Večji potoki so opazni predvsem v hribovitih delih zaradi svoje struge, vezane na oblikovitost zemljišča. V ravninah so vidni namakalni kanali, posebno če so obdani z nasipi. Na jezerih in ob morju so dobro vidni pomoli in valobrani. Komunikacije so slabše vidne od voda. Dobro so vidne le avtoceste in dvotirne železniške proge, posebno v usekih in nasipih. Lokalne ceste težko opazimo. Vidljivost komunikacije je večja tudi v gozdni poseki ali če je na meji različnih vegetacij.

Ploskovni elementi: Dobro vidimo gozd, polja, rečni prod, rečne otoke, nasade, večja jezera in seveda morje. Zaradi slabega kontrasta imamo težave z razlikovanjem urbanih površin od vegetacije. Fotogeolog bi utegnil iz posnetkov izvedeti mnogo o geomorfologiji in mikrotektoniki območja.

V merilu 1:50 000 nam povzročča težave pri razlikovanju posameznih elementov že vidno zrno na fotografiji, v obeh merilih pa tudi slab kontrast in premik posnetka zaradi predolge ekspozicije.

Za izdelavo karte v merilu 1:100 000 bi bila potrebna ločljivost 10 m, medtem ko je v resnici le 20 do 30 m.

10. Sklep

Izdelava ortofotokarte formata 58 x 40 cm v merilu 1:50 000 torej obsega ta dela:

- izdelavo ortofotografije v merilu 1:200 000,
- povečava v merilo 1:50 000 na film,
- skupni negativ z vkopirano mrežo,
- kopijo na fotopapir.

Stroški: ca 6.400,00 dinarjev, čas izdelave: ca. 2 dni.

Za ortofotokarto formata 29 x 20 cm v merilu 1:100 000 pa so stroški ca. 3.800,00 dinarjev.

Slednja bi glede na ugotovljene lastnosti lahko služila za vzdrževanje topografske karte v merilu 1:100 000 za dobro vidne elemente, z dodatno terensko identifikacijo pa tudi za slabše razpoznavne detajle.

Upajmo, da bo pri naslednjem predvidenem snemanju v juniju 1985 posneta tudi Jugoslavija v boljših snemalnih okoliščinah.

Literatura

1. Albertz, J., Kreiling, W.: Photogrammetric guide, Karlsruhe 1975.
2. Borčić, B.: Gauss-Krügerova projekcija meridijanskih zona, Zagreb 1976.
3. Črnivec, M., Mravlje, D.: Raziskava uporabe metrične kamere na Spacelabu (IV. Jugoslovansko posvetovanje o fotogrametriji, Budva 1984).
4. Dowman, I.J.: ESA-Mission requirement report: Topographic mapping using space imagery.
5. ESA: The metric camera experiment (status note to experimenters).
6. Jovanović, V.: Matematička kartografija, Beograd 1983.
7. Konecny, G., Schroeder, M.: Metric camera experiment in Spacelab mission 1 (Remote sensing from space).
8. Müller, J.: Blockausgleichungen mit Modellen in der grossmasstäbigen Photogrammetrie, Hannover 1968.
9. Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević, S., Racetin, F.: Kartografija, Beograd 1974.
10. Schwebel, R.: Spacelab metric camera calibration certificate.