

UDK 528.738:629.783 GPS (497.12)  
Prethodno priopćenje

## PRIMJENA GPS TEHNIKE U FOTOGRAMETRIJI

Miran KUHAR, Janez OVEN, Simona SAVŠEK-SAFIĆ, Bojan STOPAR\*

*SAŽETAK.* Članak prikazuje testni primjer uporabe GPS mjerenja za potrebe određivanja orijentacijskih točaka u fotogrametriji. 12 točaka na području Pivke određeno je pseudo-kinematičkom metodom opažanja i izračunate su njihove Gauss-Krügerove koordinate. Prikazana je fotogrametrijska obrada triju snimaka i dat je opći prikaz točnosti i ekonomičnosti metode.

### 1. UVOD

U zadnje vrijeme GPS tehnika nalazi svoju primjenu u svim oblastima geodezije kao opće znanosti. Njena primjena u fotogrametriji se javlja među posljednjima. Kao najsofisticiraniji oblik primjene GPS tehnike u fotogrametriji, možemo navesti određivanje koordinata projekcijskog središta kamere prilikom snimanja iz zraka u aerofotogrametriji. Za sada je to još u pokušajnoj fazi, ali su brojni primjeri pokazali da je, uz dobru sinhronizaciju GPS prijavnika i avio-kamere, moguće ostvariti točnost od nekoliko centimetara. Izvedeni su i pokusi uz pomoć letjelica koje su nosile tri GPS antene na sebi u cilju određivanja orijentacijskih kutova avio-kamere prilikom snimanja. Za dostizanje najviše željene točnosti u oba primjera, potrebno je mjeriti istodobno pomoću dva GPS prijavnika u tzv. diferencijalnom načinu. To zahtijeva i uspostavljanje radio veze između prijavnika, upotrebu specijalnog softvera, čime se uveliko povećavaju zahtjevi normalne, svakodnevne uporabe GPS tehnike.

Najširu moguću primjenu, prije svega glede ekonomičnosti u usporedbi s klasičnim mjernim tehnikama, GPS tehnika ima u određivanju položaja orijentacijskih točaka na terenu. Do sada su za određivanje njihovih Gauss-Krügerovih (GK) koordinata upotrebljavane metode klasične, geodetske teoretičke izmjere.

### 2. PRAKTIČAN PRIMJER

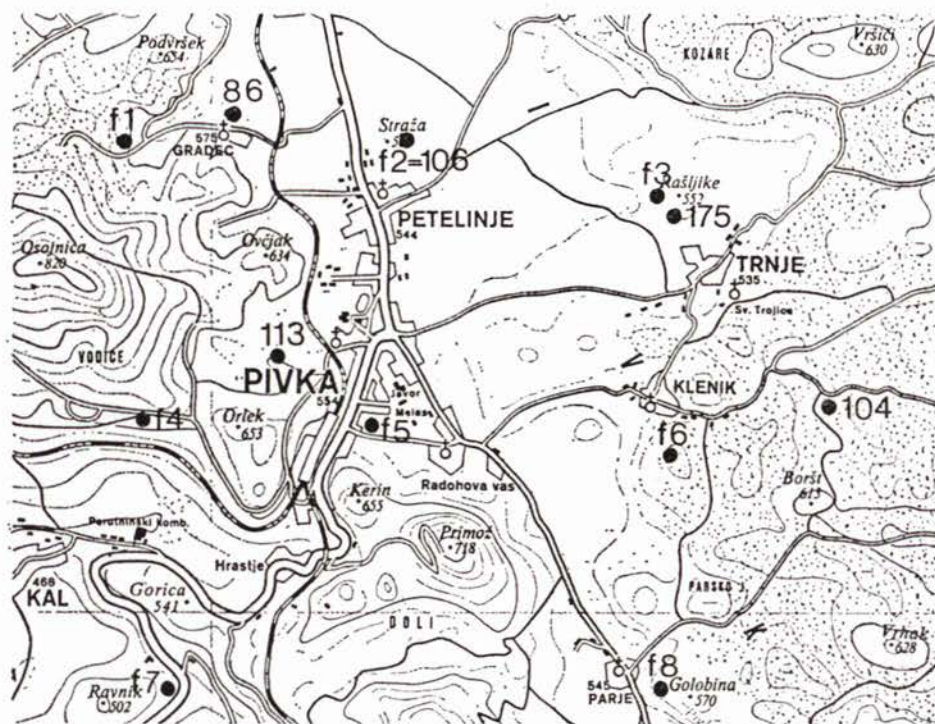
Kao praktičan primjer primjene GPS mjerenja u fotogrametriji, rad prikazuje određivanje orijentacijskih točaka za tri aerosnimka. Primjer je, kao istraživački, zasnovan u smjeru praktičke uporabe povezivanja fotogrametrije

\* Mr. Miran Kuhar, mr. Janez Oven, Simona Savšek-Safić, dipl. ing., mr. Bojan Stopar, FAGG, Jamova 2, 61000 Ljubljana, Slovenija.

i GPS tehnike. Razvoj računalne tehnologije, hardverske i softverske opreme u GIS-ima, došao je do takva stupnja da je zanimanje korisnika za fotogrametriju (posebice orto-foto, kao jednu od osnovnih podloga u GIS-u) postalo veoma veliko. Opisanim se primjerom željelo:

- operacionalizirati vezu između fotogrametrije i GPS-a,
- analizirati točnost te veze,
- analizirati ekonomičnost metode,
- ukazati na daljnje pravce razvoja.

Za testno područje izabrano je mjesto Pivka s okolicom, gdje je u lipnju 1991. godine izvedeno ciklično aerosnimanje. Za projekt su izabrana tri snimka u mjerilu 1 : 17 500. Pomoću tri GPS prijarnika opažano je 12 točaka (slika 1). U fotogrametrijskom izjednačenju opažana su dva stereo modela.



Slika 1. Točke na kojima su izvršena opažanja (isječak iz karte 1:50 000)

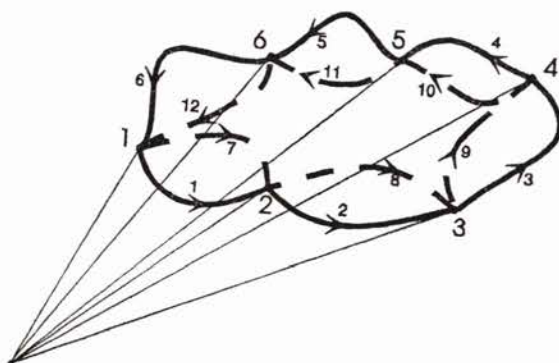
### 3. ODREĐIVANJE ORIJENTACIJSKIH TOČAKA POMOĆU GPS

Pomoću GPS tehnike određeno je 12 točaka — četiri točke za povezivanje GPS mjerenja s postojećim GK državnim koordinatnim sustavom (104, 113, 175, 86) i osam orijentacijskih točaka za aetrotriangulaciju ( $f_1$  do  $f_8$ ). Ori-jentacijske točke bile su izabrane na osnovi identifikacije točaka na snimku i na terenu, njihove dostupnosti i položaja na snimku. Identifikacija foto točaka na terenu i rekognosciranje obavljeno je u jednom danu. Zadatak je bio



odrediti GK koordinate za osam orijentacijskih točaka. Zahtjev za točnost tih točaka bio je dat glede točnosti fotogrametrije, i to  $m_x = m_y = \pm 0.05$  m i  $m_z = 0.10$  m. Zbog tražene točnosti, relativno kratkih duljina između točaka i njihove dobre dostupnosti, korištena je pseudo-kinematička metoda GPS mjerenja.

Pseudo-kinematička metoda mjerenja podsjeća na kinematičku metodu po načinu opažanja (sakupljanja podataka) i statičku metodu pri obradi podataka. Metoda je poznata i pod imenom statička metoda sa stankom ili prekinuta statička metoda. Za izvedbu pseudo-kinematičkih mjerenja potrebna su barem dva prijarnika s antenama. Kod tipične pseudo-kinematičke izmjere, jedan od prijarnika je stacioniran na poznatoj, datoj točki, a s drugim se pomičemo od točke do točke i na svakoj registriramo podatke 5 do 10 minuta. Poslije približno jednog sata, putujućim prijarnikom se vraćamo na svaku točku još jednom i ponovo opažamo 5 do 10 minuta. Na taj način za svaku točku imamo jednosatno opažanje bez podataka u sredini (slika 2).



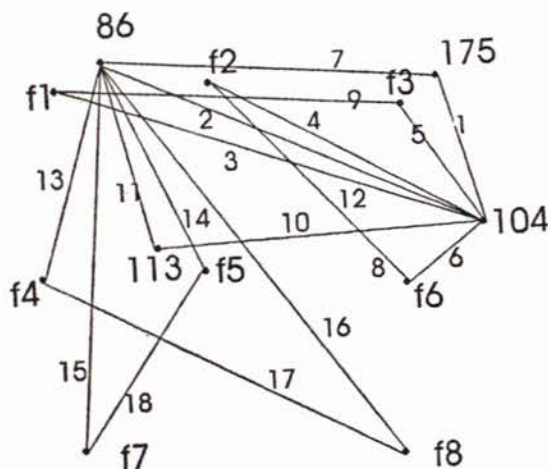
Slika 2. Pseudo-kinematička metoda izmjere

Bitno je da isti prijarnik obiđe istu točku dva puta. Jednosatni vremenski interval između prvog i drugog obilaska je potreban da se raspored satelita dostatno promijeni i time omogući određivanje cjelobrojne nepoznanice  $N$  («Ambiguity»). Vremenski razmak između opažanja ne smije biti kraći od 50 minuta, niti dulji od 120 minuta (Ewing, 1990).

Prilikom planiranja opažanja pomoću pseudo-kinematičke metode, potrebno je imati barem tri satelita (bolje 4 ili više) koji su iznad horizonta za sve vrijeme opažanja. Za vrijeme putovanja između točaka, nije potrebno registri-rati signal emitiran sa satelita. Ukoliko imamo više putujućih prijarnika koji su u radio-vezi, moguće je odrediti vektore između njih.

U našem slučaju izmjeru smo izveli pomoću tri GPS prijarnika Ashtech LD-XII, 16. prosinca 1992. godine. Raspored satelita omogućavao je opažanja između 10.15 i 12.05 i od 12.45 dalje po lokalnom vremenu. Potrebno vrijeme za opažanje, zajedno s vremenom putovanja između točaka, bilo bi 8 sati pomoću dva prijarnika, odnosno 4 sata pomoću tri prijarnika. Opažanja smo podijelili u dvije sesije. U oba slučaja jedan prijarnik je bio stacionarni, a dva su bila putujuća. Opažanja obavljena putujućim prijarnicima bila su

sinhronizirana radio-vezom, tako da je između svih točaka bilo moguće izračunati 18 neovisnih baznih vektora (slika 3).



Slika 3. Shema 18 izmjerenih vektora

Programom za obradu GPS vektora Ashtech GPPS izračunali smo 18 opažanih vektora i ocjenu točnosti, a rabljena su samo rješenja s  $L_1$  frekvencijom. Vektore smo potom izjednačili u mreži pomoću programa Columbus, prvo kao djelomično slobodnu (jedna poznata točka, 113) i zatim kao uklopljenu (poznata jedna točka po položaju i visini 113, i četiri točke po visini). U izjednačenju su uvedene ortometrijske visine točaka (Stopar, 1991). Rasponi srednjih pogrešaka izjednačenih koordinata točaka kreću se u granicama: u smjeru osi Y između 11 i 32 mm, u smjeru osi X između 9 i 28 mm i u smjeru osi Z između 27 i 61 mm. Visinska komponenta vektora je dva puta slabije određena, što je i obično pri GPS mjerenjima.

Tako izjednačene koordinate smo nakon toga transformirali u državni koordinatni sustav, koristeći četiri točke s poznatim GK koordinatama. Za ocjenu kvalitete transformiranih koordinata točaka mreže služe odstupanja na identičnim točkama, nakon obavljene transformacije (tablica 1). Neovisnu

Tablica 1. Odstupanja na točkama nakon obavljene transformacije

TOČKA	dY	dX	dZ
104	-.004	-.010	.000
113	.003	.020	.000
175	.011	.009	.000
86	-.010	-.018	.000



kontrolu transformacije uradili smo na točki 106 (jedna od fotogrametrijskih točaka) koja ima dane GK koordinate; odstupanja na toj točki su  $\Delta Y = \Delta X = 0.01$  m i  $\Delta Z = 0.07$  m.

#### 4. FOTOGRAMETRIJSKA OBRADA

Fotogrametrijska obrada obuhvaćala je izmjeru snimaka na stereokompatoru Zeiss Dicometer. Deklarirana točnost instrumenta je od  $1\mu\text{m}$  do  $2\mu\text{m}$  na snimci. Dicometer ima omogućeno automatsko unošenje podataka na PC. Obradivane su tri snimke. Najprije su bile izmjerene komparatorske koordinate svake pojedine snimke, zatim snimaka u paru. Opažanja na snimkama su bila izvedena dva puta. Razlike između dvostrukih opažanja iste točke bile su između  $2\mu\text{m}$  do  $3\mu\text{m}$  na signaliziranim točkama,  $3\mu\text{m}$  do  $5\mu\text{m}$  na orijentacijskim točkama i do  $7\mu\text{m}$  na točkama za relativnu orijentaciju. Razlike između mono i stereo opažanja točaka bile su u rangu točnosti komparatora ( $1\text{--}2\mu\text{m}$ ). Iz komparatorskih koordinata putem šest parametarske affine transformacije izračunate su slikovne koordinate za sva tri snimka. Putem numeričke relativne orijentacije izračunata su dva stereomodela i svaki model je bio apsolutno orijentiran na pet orijentacijskih točaka. Za sva tri snimka izvršena je i aerotriangulacija bloka (tri snimka u redu) na 8 orijentacijskih točaka.

Rasponi odstupanja na orijentacijskim točkama poslije izvršene tri transformacije (dva modela i aerotriangulacija) kreću se u slijedećim granicama:

- transformacija prvog modela: po osi Y: od 0.06 do 0.19 m, po osi X: od 0.06 m do 0.18 m, po osi Z: od 0.07 m do 0.43 m;
- transformacija drugog modela: po osi Y: od 0.02 m do 0.23 m, po osi X: od 0.03 m do 0.18 m, po osi Z: od 0.04 m do 0.38 m;
- aerotriangulacija: po osi Y: od 0.03 m do 0.25 m, po osi X: od 0.01 m do 0.23 m, po osi Z: od 0.06 m do 0.53 m.

Ako izračunamo konkretne vrijednosti srednjih pogrešaka određivanja signaliziranih točaka, dobivamo za naš slučaj slijedeće vrijednosti:  $M_{xy} = \pm 0.14$  m i  $M_z = \pm 0.21$  m, ( $M_{xy} = \pm 8\mu\text{m}$  u ravnini snimke i  $M_z = \pm 0.008\%$  visine leta, Kraus, 1986). Iz upoređenja prethodno navedenih i izračunatih odstupanja, vidi se da na orijentacijskim točkama, koje nisu signalizirane, postizemo pozicijsku točnost predviđenu za signalizirane točke, dok su pogreške po visini veće.

Pored orijentacijskih točaka opažane su i kontrolne točke. To su točke popunjavajuće mreže koje, pored svoje uobičajene stabilizacije, imaju betonske ploče  $64 \times 64 \times 4$  cm i koje se vide na snimkama. Za kontrolu su određene njihove GK koordinate kao detaljne točke na snimkama. Razlike koordinata određenih na taj način i pravih, danih GK koordinata, kreću se u granicama postignute točnosti. Veća odstupanja javljaju se u koordinati Z (visini točaka). Odstupanja visina ukazuju na prisutnost sistematične pogreške čiji izvor nije moguće jasno odrediti. Uzrok tome može biti slijedeći: korištenje ortometrijskih (nadmorskih) visina točaka u transformaciji točaka određenih pomoću GPS-a; slabo određena visinska komponenta modelskih koordinata; slabo određene visine točaka klasičnom izmjerom.

## 5. ZAKLJUČAK

Analiza cijelog projekta ukazuje na slijedeće:

- Uspjelo se operacionalizirati uporabu GPS mjerenja u svrhu određivanja orijentacijskih točaka. Identifikacija točaka sa snimaka opažanih pomoću GPS-a izvršena je u jednom danu. GPS opažanja na 12 točaka izvršena su za 5 sati. Dvostruka fotogrametrijska mjerenja na Dicometru izvršena su za 5 sati.
- Analiza točnosti: u tijeku čitava projekta kontrolirana su odstupanja svih mjerenja i računata je analiza pogrešaka mjerenja i novo izračunatih mjernih veličina (Oven, 1993).
- Analiza ekonomičnosti: prvo stanovište je točnost; točnost pomoću GPS određenih točaka i transformiranih u državni koordinatni sustav, iznosila je  $\pm 2$  cm položajno i  $\pm 5$  cm po visini. Drugo stanovište je brzina određivanja točaka. Iskustvo nam govori kako na klasičan način 12 točaka nije moguće odrediti za 5 sati rada. Uporedba s normama nema smisla, jer su one zastarjele. Prema podacima Republičke geodetske uprave, cijena za određivanje jedne točke popunjavajuće mreže iznosi 10 jedinica. Određivanje jedne točke u mreži za potrebe geodinamike s pomoću GPS, iznosi 20 jedinica (riječ je o statičkom načinu opažanja, 2 dana po 8—10 sati s ciljem postizanja točnosti  $10^{-7}$  do  $10^{-8}$ ). Na temelju iznesenih podataka očigledno je kako su GPS mjerenja ekonomičnija od klasičnih.

Kao opći zaključak može se kazati da je GPS metoda došla do punog izražaja glede ekonomičnosti i točnosti dobivenih rezultata. Poznavanje geoida s točnošću od 5 cm i bolje, omogućilo bi uvođenje elipsoidnih visina u izjednačenje i njihovo prevođenje u ortometrijske, čime bi sva visinska odstupanja bila ovisna od fotogrametrijskog postupka. U tom smjeru su neophodni novi testni primjeri. Međutim, dok naša služba aerosnimanja ne usvoji postupke direktne veze GPS prijamnika i aviokamere (čime bi za manje točne radove u potpunosti otpale orijentacijske točke na zemlji), ostaju GPS mjerenja na manje zaraslom terenu vrlo efikasan i pouzdan način određivanja orijentacijskih točaka.

## LITERATURA

- Ewing, B. (1990): Pseudokinematic GPS for the surveyor, *GPS World*, 5, 50—52.  
 Kraus, K. (1986): *Photogrammetrie*, Band 1, Dümmlers Verlag, Bonn.  
 Oven, J. (1993): Daljinsko zaznavanje kot podpora nastavitvi in vzdrževanju prostorskih baz podatkov, magistrski rad, FAGG Ljubljana.  
 Stopar, B. (1991): Kombinacija terestričkih mjerenja i mjerenja s pomoću satelita, *Geodetski list*, 2, 161—170.

## THE USE OF GPS TECHNIQUE IN PHOTOGRAMMETRY

Elaborated was a case study of connectivity of photogrammetric zone (three aerial photographs) to control points, which coordinates were gained by the GPS pseudokinematic survey method. Presented are GPS measurements, restitution of aerial photographs, calculation process and accuracy and economic analysis.

Primljeno: 1993-11-02