

DOLOČEVANJE FOTOGRAMETRIČNIH OSLONILNIH TOČK Z GPS-jem

mag. Janez Oven

FAGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Prispelo za objavo: 26.2.1993

Izvleček

Izdelana je praktična naloga navezave fotogrametričnega pasu (trije posnetki) na oslonilne točke, izračunane iz meritev GPS-ja. Vzeti so posnetki CAS 1991 na območju Pivke.

Opisani so postopki merjenja, izvednotenja posnetkov, potek računanja in analizi natančnosti in ekonomičnosti.

Ključne besede: aerotriangulacija, fotogrametrija, Global Positioning System, navezava, natančnost, oslonilne točke, potek računanja, Slovenija

Abstract

Elaborated was a case study of connectivity of photogrammetric zone (three aerial photographs) to control points, calculated from the GPS measurements. The CAS 1991 aerial photographs of the Pivka territory were taken. The author describes measurements, restitution of aerial photographs, calculation process and accuracy and economic analysis.

Keywords: accuracy, aerotriangulation, calculation process, connectivity, control points, Global Positioning System, photogrammetry, Slovenia

UVOD

Razvoj računalniške tehnologije v GIS-ih je dosegel stopnjo, ko postaja pri uporabnikih zanimanje za ortofoto, kot eno od osnovnih informacijskih plasti, čedalje večje. Eden od korakov do izdelave digitalnega ortofota je orientacija letalskih posnetkov. Cilj raziskave je bila vpeljava GPS-ja za določanje oslonilnih točk pri aerotriangulaciji (operacionalizacija, analizi natančnosti in ekonomičnosti metode). Za testno območje je bila izbrana Pivka z okolico, kjer je bil izveden CAS junija 1991. Za eksperiment so bili izbrani trije posnetki v merilu 1: 17 500. S tremi sprejemniki GPS-ja je bilo opazovanih dvanajst točk. V fotogrametričnem izvednotenju sta bila opazovana dva stereomodela. Vse koordinate in srednji pogreški v nadaljevanju imajo za enoto meter. Podanim koordinatam Y je za popolne GK koordinate treba prišteti še 5 400 000 metrov, koordinatam X pa 5 000 000 metrov.

DOLOČITEV KOORDINAT OSLONILNIH TOČK Z GPS-jem

S psevdokinematično metodo GPS-ja je bilo izmerjenih 12 točk – štiri točke za navezavo GPS meritev na državni GK koordinatni sistem in osem oslonilnih točk

za aerotriangulacijo. Oslonilne točke so bile izbrane na podlagi identifikacije točk na posnetku in terenu, lege na posnetku in dostopa do točke. Identifikacija foto točk na terenu in rekognosciranje navezovalne mreže je bilo končano v enem dnevu. Osmim oslonilnim točkam je treba določiti koordinate v GK koordinatnem sistemu. Zahtevana natančnost oslonilnih točk je bila podana glede na natančnost fotogrametrije (Kraus 1986), in sicer $m_x = m_y = \pm 0,05$ m in $m_z = \pm 0,10$ m. Glede na zahtevano natančnost, zaradi relativno majhnih razdalj (zračne razdalje do 5 km) in dobre dostopnosti merjenih točk, je bila uporabljena psevdokinematična metoda, ki zadovoljuje dane zahteve. Določitev koordinat z GPS-jem je podrobneje opisana v članku, objavljenem v tej številki (Kuhar et al. 1993).

MERITVE NA KOMPARATORJU

Komparatorske koordinate so bile izmerjene na stereokomparatorju Dicometer. Diapozitivi so bili opazovani prvič kot monoposnetki in drugič kot stereopari. Razlike med mono- in stereo opazovanji točk so bile v rangu natančnosti komparatorja. Opazovanja so obsegala:

- 1. model posnetka 20/21, kjer so bile opazovane 4 robne marke kamere, 5 oslonilnih točk (f1, f2, f4, f5 in f7), točke za digitalno relativno orientacijo (DRO) in kontrolni točki 70 in 113
- 2. model posnetka 19/20, kjer so bile opazovane 4 robne marke, 5 oslonilnih točk (f2, f3, f5, f6 in f8), točke za DRO in kontrolne točke (64, 65, 70, 72 in 108).

Iz komparatorskih koordinat so bile s programom DA2 izračunane slikovne koordinate vseh treh posnetkov.

AEROTRIANGULACIJA

Ker na fakulteti ne razpolagamo s programi za snopovno izravnavo blokov, je bila izračunana pasovna aerotriangulacija treh posnetkov. S programom za analitično formiranje pasu STRIPPO so bile izračunane modelne koordinate vseh točk dveh modelov z orientacijskimi elementi in projekcijskimi centri. V Preglednici 1 so koordinate oslonilnih točk in preostala odstopanja po izravnavi pasu. Izračunani so tudi srednji pogreški po oseh.

Preglednica 1

Točka	Y	X	Z	vV	vX	vZ
f1	36280,92	61385,21	582,26	,36	,17	,07
f2	37831,81	61393,08	563,27	,07	,10	,53
f3	39738,62	61077,37	551,61	,03	,40	,28
f4	36071,33	59500,20	588,18	,10	,01	,06
f5	37705,69	59503,45	575,61	,03	,11	,11
f6	39729,55	59286,38	586,55	,21	,10	,25
f7	36417,36	57752,43	473,50	,18	,27	,11
f8	39623,74	57571,89	553,85	,14	,06	,35

Mo	$\pm,17$	$\pm,19$	$\pm,27$
----	----------	----------	----------

ANALIZA REZULTATOV NALOGE

Rezultati analize opravljenega dela:

- Operacionalizacija – operacionalizacija uporabe GPS določevanja fotogrametričnih oslonilnih točk je uspela. Po pridobitvi kart, aeroposnetkov in diapozitivov CAS-a je bil narejen projekt izmere točk s GPS-jem. Oslonilne točke na posnetkih je bilo treba identificirati na terenu in določiti navezovalne točke. Dvakratna fotogrametrična opazovanja modelov na komparatorju Dicometer so bila končana v petih urah. Pomembno je bilo planiranje opazovanj GPS-ja. Meritve GPS-ja so bile izvedene s tremi sprejemniki v petih urah.
- Analiza natančnosti – skozi vso nalogo so bila kontrolirana odstopanja vseh meritev in računane analize pogreškov merjenj in novo izračunanih količin (Oven 1993).
 - kontrola opazovanj – opazovanja na posnetkih so bila izvedena dvakrat. Razlika med dvakratnimi opazovanji iste točke so se gibala med 2 do 3 mikroni na signaliziranih točkah, 3 do 5 mikronov na oslonilnih točkah in do 7 mikronov na točkah za digitalno relativno orientacijo. Privzet srednji pogrešek opazovanj signaliziranih točk (Kraus 1986) je $M_{xy} = \pm 8 \mu\text{m}$ v ravnini posnetka in $M_z = \pm 0,008\%$ letalne višine. Opazovanja te pogoje v celoti izpolnjujejo.
 - transformacija na oslonilne točke – po izračunu modelnih koordinat sem izračunal tri transformacije. Prva in druga transformacija sta transformaciji posameznega modela na pet oslonilnih točk, tretja pa je aerotriangulacija pasu na osem oslonilnih točk. Srednji pogreški odstopanj na oslonilnih točkah po izravnavi so:

Model 1 20/21:

Mo	$Y = \pm,15$	$X = \pm,11$	$Z = \pm,33$
----	--------------	--------------	--------------

Model 2 19/20:

Mo	$Y = \pm,17$	$X = \pm,11$	$Z = \pm,33$
----	--------------	--------------	--------------

Pas :

Mo	$Y = \pm,17$	$X = \pm,19$	$Z = \pm,27$
----	--------------	--------------	--------------

Če izračunamo konkretne vrednosti srednjih pogreškov (Kraus 1986) za primer naloge, je: $M_{xy} = \pm 0,14 \text{ m}$ in $M_z = \pm 0,21 \text{ m}$ (kriterij 1). Iz primerjave srednjih pogreškov zgoraj in izračunanih M_{xy} , M_z (Kraus 1986) se vidi, da na oslonilnih točkah, ki niso signalizirane, dosegamo pozicijsko natančnost, ki je predvidena za signalizirane točke, medtem ko so pogreški višini nekoliko večji.

- analiza fotogrametrično določenih („novih“) točk – pri opazovanju modelov so bile poleg oslonilnih točk in točk za DRO opazovane še kontrolne točke. To so točke navezovalne mreže, ki imajo poleg kamnov še betonske plošče $64 \times 64 \times 4 \text{ cm}$ in se vidijo na posnetkih. V Preglednicah 2, 3

in 4 so izračunana odstopanja kontrolnih točk, ki imajo dane GK koordinate, in so opazovane in izračunane na posnetkih kot detajlne točke. V preglednicah so izračunane koordinate, odštete od danih GK koordinat. Razlike so izračunane za posamezna modela in za pas.

Model 1: *Preglednica 2*

Točka	dY	dX	dZ
70	,19	-,12	-,36
113	,12	-,06	-,84
---	---	---	---
Mo	±,16	±,09	±,65

Model 2: *Preglednica 3*

Točka	dY	dX	dZ
64	,15	-,15	-1,50
65	,01	-,08	-,36
70	,06	-,14	-,32
72	,20	,24	-,37
108	,11	-,05	-,89
---	---	---	---
Mo	±,13	±,15	±,83

Pas: *Preglednica 4*

Točka	dY	dX	dZ
64	,10	-,06	-1,24
65	-,01	-,03	-,30
70	-,02	-,00	-,05
72	,16	,38	-,30
108	,05	,08	-,61
113	-,02	-,03	-,59
---	---	---	---
Mo	±,08	±,16	±,64

Iz izračunanih srednjih pogreškov v Preglednicah 2, 3 in 4 se vidi, da so novo izračunane točke v modelih in pasu dobro pozicijsko določene (kriterij 1), medtem ko so višinska odstopanja večja. Iz zgornjih tabel se vidi, da odstopanja koordinate Z kažejo sistematični zamik višin, katerega izvor ni jasno določljiv. Predvsem odstopa po višini točka 64 in jo je treba ponovno preveriti na terenu.

- analiza vpliva števila oslonilnih točk – pri transformaciji pasu na oslonilne točke sta bila izračunana dva primera. Prvi je primer, kjer smo transformirali na vse oslonilne točke, v drugem primeru pa je bila izračunana transformacija na vse točke z danimi GK koordinatami (oslonilne in kontrolne točke). Srednji pogreški izravnavo pasu so v Preglednici 5.

Preglednica 5

	dY	dX	dZ
<i>Mo</i>	$\pm,15$	$\pm,16$	$\pm,40$

Za primerjavo, kako vpliva več točk na orientacijo pasu, je bila narejena še aerotriangulacija na vse dane točke. Iz izračunanih koordinatnih razlik na detajlnih točkah (DRO) dveh aerotriangulacij sta bili izračunani aritmetična sredina absolutnih razlik in maksimalna razlika koordinat po posameznih oseh (Preglednica 6).

Preglednica 6

	dY	dX	dZ
<i>ABS. aritmetična sredina razlik</i>	,02	,03	,19
<i>Maksimalna razlika</i>	,05	,06	,32

Iz razlik na točkah, ki so bile izračunane po obeh aerotriangulacijah vidimo, da so detajlne točke pozicijsko stabilne, koordinata Z pa je zamaknjena zaradi transformacije na različne skupine točk (glej Preglednice 2, 3 in 4). Razlike v Preglednici 6 dokazujejo teorijo določevanja oslonilnih točk pri aerotriangulaciji, da večje število oslonilnih točk znotraj modelov ne prinese boljših rezultatov.

- Analiza ekonomičnosti – prvo stališče je stališče natančnosti določevanja točk. Srednji pogreški pri zahtevani natančnosti določitve oslonilnih točk so bili: $m_x = m_y = \pm 0,05$ m in $m_z = \pm 0,10$ m. Natančnost GPS določenih točk, v navezavi na koordinatni sistem GK, se je gibala v rangu 2 cm pri poziciji in do 5 cm pri višinah (Kuhar et al. 1993). Drugo stališče je hitrost določevanja točk. Glede na izkušnje menim, da s klasično metodo določevanja točk tega dela ni mogoče narediti v 5 urah. Primerjava z normami za klasično določevanje točk ni ustrezna, ker so norme zastarele in se danes dela na podlagi določitve cen na (oslonilno, navezovalno) točko. Tretja in pomembna je analiza stroškov. Po podatkih Republiške geodetske uprave je cena za določitev ene navezovalne točke 4. reda 10 točk. Opazovanja ene točke pri geodinamiki z meritvami GPS-ja pa 20 točk. Za primerjavo so za geodinamične točke potrebna statična opazovanja GPS-ja (2 dni po 10 ur) in natančnost točk reda 0,001 do 0,002 metra. Iz naštetih dejstev in izdelane naloge in ob predpostavki, da so vsa merjenja obravnavana enako, sklepamo, da je metoda s sistemom meritev z GPS-jem ekonomičnejša od klasične izmere.

ZAKLJUČEK

Fotogrametri v razvitem svetu že sedaj uporabljajo GPS meritve pri določevanju elementov zunanje orientacije. Uporabljajo se pri določevanju oslonilnih točk in

pri snemanjih (letalskih in terestričnih). Sprejemnik GPS-ja je v povezavi z osebnim računalnikom možno že vnaprej programirati, tako da sprejemnik GPS proži kamero. Tako imamo dane tudi koordinate projekcijskega centra. Za manj natančne projekte tako ni potrebno opazovanje oslonilnih točk na Zemlji. S sprejemniki GPS-ja, ki so bili uporabljeni pri tem projektu, zaenkrat ni možno izvesti projektov, opisanih v prejšnjem odstavku. Sprejemnike pa je možno dograditi. Zato bi bilo zaželeno, da se pri nakupu novih sprejemnikov upošteva tudi trende pri uporabi tehnologije GPS-ja v fotogrametriji.

Viri:

- Bausert, G. et al., 1989, "On the Use of GPS in Airborne Photogrammetry, Hydrographic Applications, and Kinematic Surveying", 5th International symposium on satellite positioning, New Mexico, 1029-1040.
- Kraus, K., 1986, *Photogrammetrie (Band 1)*, Duemmlers Verlag, Bonn.
- Kuhar, M. et al., 1993, GPS – psevdokinematična metoda izmere, *Geodetski vestnik* (37), Ljubljana, štev. 1, 7-13.
- Lapine, L.A., 1990, Practical photogrammetric control by kinematic GPS, *GPS World*, Chester, maj – junij, 44-49.
- Merrell, R.L. et al., 1989, Development of an Operational GPS-controlled Aerial Photography Capability, 5th International symposium on satellite positioning, New Mexico, 634-642.
- Oven, J., 1993, Daljinsko zaznavanje kot podpora nastavitvi in vzdrževanju prostorskih baz podatkov, Magistrska naloga, FAGG, Ljubljana.
- Vegt, J. W., 1989, Differential GPS: Efficient Tool in Photogrammetry, *Journal of Surveying Engineering*, New York, No. 8, p. 285-296.

Recenzija: Bojan Stanonik
mag. Bojan Stopar