

UDK 528.735  
Referat na savjetovanju

## KONCEPCIJA PROGRAMA ZA UKLJUČIVANJE GEODETSKIH OPAŽANJA I INFORMACIJA O OBJEKTU U FOTOGRAMETRIJSKO IZRAVNANJE BLOKA NEZAVISNIH MODELA

Dragan MIHAJLOVIĆ — Beograd\*

### 1. UVOD

Kod klasične primene aerotriangulacije bloka nezavisnih modela sve geometrijske informacije o objektu moraju biti izražene isključivo u vidu prostornih koordinata orijentacionih tačaka. Zbog toga se u praksi često dešava da mnogo drugih geometrijskih informacija i podataka ostanu neiskorišćeni, jer se nemogu izraziti u koordinatnom sistemu objekta. To mogu biti sve vrste geodetskih opažanja (dužine, horizontalni i vertikalni uglovi, azimuti, visinske razlike itd.), kao i sve vrste geometrijskih informacija o objektu (horizontalne i vertikalne ravni, prave linije, paralelne i upravne linije itd.). U slučajevima kada se ne raspolaže zadovoljavajućim brojem i rasporedom orijentacionih tačaka, ovi podaci mogu biti od velike koristi, pod uslovom da u izravanju bloka mogu ravnopravno učestvovati sa fotogrametrijskim merenjima.

Zahtev prakse da joj se umesto dosadašnjeg načina prikupljanja podataka (koji se bazirao samo na koordinatama i visinama orijentacionih tačaka) ponude raznovrsnije mogućnosti sasvim je razumljiv. Pri rešavanju ovog zahteva treba imati u vidu da ponuđeno rešenje nesme ugroziti ekonomičnost, efikasnost i tačnost postojeće metode aerotriangulacije [3].

### 2. OSNOVNA IDEJA

Problem uključivanja dodatnih informacija u fotogrametrijsko izravanje bloka teoretski je u potpunosti rešen [1], [4], [5]. Međutim, u praktičnoj realizaciji ovog problema nastaju ozbiljne teškoće zbog toga što nove vrste jedna-

\* Adresa autora: Dragan Mihajlović, Institut za geodeziju Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Bulevar revolucije 73, Beograd.

Sadržaj ovog članka izložen je u referatu na simpoziju ISPRS Komisije III, održanom u Finskoj od 18. do 22. avgusta 1986.

čina opažanja narušavaju trakastu strukturu matrica redukovanih normalnih jednačina [2]. Prema tome, ugrožava se upravo ona vitalna tačka koja je aeri-triangulaciji bloka omogućila visoku efikasnost i ekonomičnost.

Da bi se izbegli ovi nepovoljni efekti, dodatne informacije treba grupisati u nezavisne koordinatne sisteme i zajedno sa ostalim fotogrametrijskim modelima uključiti u izravnanje bloka. Na ovaj način bi se sačuvala trakasta struktura matrice redukovanih normalnih jednačina, ali bi se zbog dodatnih modela povećao broj nepoznatih transformacionih parametara. Pošto se radi o ograničenom broju dodatnih informacija, to povećanje za veće blokove ne bi bilo značajno. Ukoliko ne bi došlo do proširenja trake matrice redukovanih normalnih jednačina, tada se povećanje potrebnog računskog vremena za kombinovano izravnanje može smatrati zanemarljivim.

Broj novih nepoznatih transformacionih parametara može se smanjiti grupisanjem povezanih opažanja u zajedničke koordinatne sistema. Da ne bi došlo do proširenja trake RNJ, formirani modeli ne smeju zauzimati prostor veći od površine zahvaćene jednim fotogrametrijskim modelom. Stohastičke osobine svakog geodetskog opažanja, ili poverenje koje treba dati geometrijskoj informaciji, mogu se izraziti odgovarajućim težinama koordinata u formiranim nezavisnim modelima.

Mogućnosti za prikupljanje geodetskih podataka i geometrijskih informacija su mnogobrojne. Međutim, njihovo uključivanje u blok treba da bude racionalno, obzirom na povećanje broja nepoznatih u izravanju. Zato se svi podaci moraju locirati pre svega u područjima bloka bez, ili sa nedovoljnim brojem orijentacionih tačaka, kao i u područjima gde bi njihovo uključivanje dovelo do bitnog povećanja tačnosti.

### 3. FORMIRANJE MODELA SA DODATNIM INFORMACIJAMA O OBJEKTU

U cilju realizacije predložene ideje treba poštovati sledeće principe:

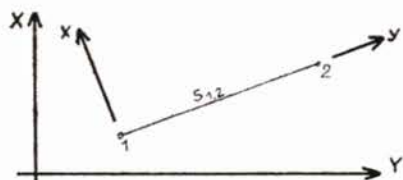
— U izravanju se kao i kod klasičnog izravnanja bloka zadržavaju dve grupe jednačina opažanja — koordinate merenih fotogrametrijskih tačaka i koordinate orijentacionih tačaka.

— Koordinate tačaka u novoformiranim modelima tretiraju se kao fotogrametrijska opažanja, a nepoznati parametri kao parametri fotogrametrijskih modela.

— Broj nepoznatih transformacionih parametara u svakom novoformiranom modelu mora biti manji od broja opažanja u tom modelu.

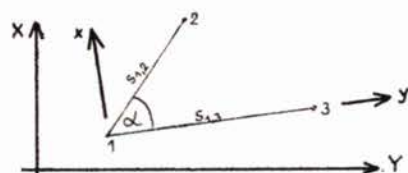
Na slikama 1—6 definisani su nezavisni koordinatni sistemi za najveći broj geodetskih opažanja i geometrijskih informacija o objektu. Za svaki od ovih slučajeva i za njihove moguće varijante, u tabeli br. 1 prikazani su: broj i vrsta nepoznatih transformacionih parametara i broj jednačina opažanja.

Zbog smanjenih stepena slobode pojedinih novoformiranih modela, ugao rotacije postaje nelinearna veličina. Zbog toga su sve nepoznate veličine u tabeli 1 prikazane kao diferencijali, uz pretpostavku poznavanja odgovarajućih približnih vrednosti. Približne vrednosti nepoznatih je najjednostavnije dobiti korišćenjem približnih koordinata tačaka posle prve iteracije klasičnog blok-



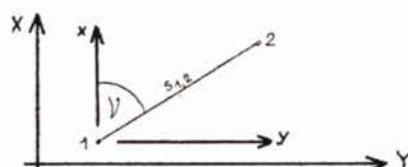
Sl.1.: Horizontalno rastojanje

	y	x
1	0	0
2	$S_{1,2}$	0



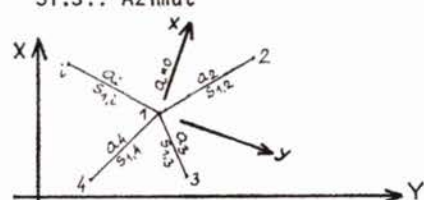
Sl.2.: Horizontalni ugao

	y	x
1	0	0
2	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$
3	$S_{1,3}$	0



Sl.3.: Azimut

	y	x
1	0	0
2	$\sin\gamma$	$\cos\gamma$



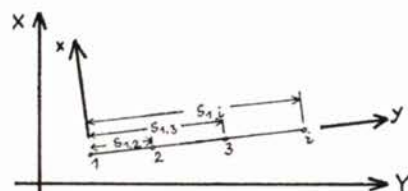
Sl.4.: Pravci mereni na stanici

	y	x
1	0	0
2	$\sin\alpha_2$	$\cos\alpha_2$
3	$\sin\alpha_3$	$\cos\alpha_3$
	$\vdots$	$\vdots$
i	$\sin\alpha_i$	$\cos\alpha_i$



Sl.5.: Visinska razlika

	z
1	0
2	$\Delta z$



Sl.6.: Prava linija

	y	x
1	0	0
2	$S_{1,2}$	0
3	$S_{1,3}$	0
	$\vdots$	$\vdots$
i	$S_{1,i}$	0

Tabela 1.: Prikaz najčešćih geodetskih merenja i geometrijskih informacija kao dodatnih informacija u blokizravanju

Dodatna informacija	Ilustracija	Merene veličine	Nepoznate veličine	Broj opažanja	Vrsta izravanja
Horizontalno rastojanje	1	$s_{1,2}$	$dX_0, dY_0, dK$	4	4
Horizontalni ugao	2	$\alpha$	$dX_0, dY_0, a, b$	6	4
Horizontalna rastojanja i ugao između njih	2	$\alpha, s_{1,2}, s_{1,3}$	$dX_0, dY_0, dK$	6	4
Azimut	3	$\nu$	$dX_0, dY_0, l + d\lambda$	4	4
Azimut i horizontalno rastojanje	3	$\nu, s_{1,2}$	$dX_0, dY_0$	4	4
Pravci na stanicama	4	$a_2, a_3, \dots, a_i$	$dX_0, dY_0, a, b$	$\frac{(i+1) \cdot 2}{i_{\min} = 2}$	4
Pravci i horizontalna rastojanja	4	$a_2, a_3, \dots, a_i, s_{1,2}, s_{1,3}, \dots, s_{1,i}$	$dX_0, dY_0, dK$	$\frac{(i+1) \cdot 2}{i_{\min} = 2}$	4
Visinska razlika	5	$\Delta Z$	$dZ_0$	2	3
Horizontalna ravan	—	—	$dZ_0$	$\frac{i}{i_{\min} = 3}$	3
Vertikalna ravan	6	—	$dX_0, dY_0, a, b$	$\frac{i \cdot 2}{i_{\min} = 3}$	4
Tačke na pravoj liniji	6	—	$dX_0, dY_0, a, b$	$\frac{i \cdot 2}{i_{\min} = 3}$	4
Tačke na vertikali	—	—	$dX_0, dY_0$	$\frac{i \cdot 2}{i_{\min} = 2}$	4

izravanja. Ove koordinate su takođe neophodne i za dobijanje približnih razmera u novoformiranim modelima u kojima nema merenja horizontalnih rastojanja.

#### 4. JEDNAČINE OPAŽANJA

Smanjivanjem stepena slobode pojedinih novoformiranih modela u odnosu na uobičajene (4 u položajnom i 3 u visinskom izravanju) menjaju se funkcionalni odnosi između koordinatnih sistema modela i objekta, pa time i

izgled jednačina opažanja. Prema tome, za modele koji su u položajnom izravnanju zadržali 4 stepena slobode, važiće iste jednačine opažanja kao u klasičnom izravnanju:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' - Y' \\ 0 & 1 & Y' & X' \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} dX \\ dY_0^o \\ a \\ b \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_i \quad (1)$$

Za modele sa oduzetom rotacijom jednačine opažanja glase:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' \\ 0 & 1 & Y' \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} dX \\ dY_0^o \\ 1 + d\lambda \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_i \quad (2)$$

Za modele sa oduzetom razmerom jednačine opažanja glase:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -Y' \\ 0 & 1 & X' \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} dX \\ dY_0^o \\ dK \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix}_{ij} \quad (3)$$

dok za modele sa oduzetom rotacijom i razmerom jednačine opažanja imaju oblik:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX_0 \\ dY_0^o \end{bmatrix}_j - \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix}_{ij} \quad (4)$$

Pri tome su u izrazima (1) — (4) korišćene sledeće oznake:

- $i$  — broj tačke;
- $j$  — broj modela;
- $v_x, v_y$  — popravke;
- $dX_0^o, dY_0^o, d\lambda, dk$  — nepoznati transformacioni parametri;
- $X, Y$  — nepoznate koordinate;
- $X', Y'$  — približne koordinate posle prve iteracije klasičnog blokizravnjanja.

U visinskom izravnanju jednačine opažanja u klasičnom blokizravnanju glase:

$$[v_z]_{ij} = [1 - X' Y']_{ij} \begin{bmatrix} dZ_0 \\ d\Phi \\ d\Omega \end{bmatrix}_j - [Z]_i + [Z']_{ij} \quad (5)$$

Za modele sa oduzetim rotacijama,  $\Omega$ ,  $\Phi$ , jednačine opažanja glase:

$$[v_z]_{ij} = [dZ_0]_j - [Z]_i + [Z']_{ij} \quad (6)$$

Pri tome su u izrazima (5) i (6) korišćene sledeće oznake:

- $i$  — broj tačke;
- $j$  — broj modela;

- $v_z$  — popravke;  
 $dZ_0, d\Phi, d\omega$  — nepoznati transformacioni parametri;  
 $Z$  — nepoznate visine;  
 $Z'$  — približne visine posle prve iteracije klasičnog blokizravnjanja.

## 5. PROGRAMSKA REALIZACIJA

Izložena ideja za uključivanje dodatnih informacija u blokizravnjanje nezavisnih modela podrazumeva proširenje postojećeg programa za klasično blokizravnjanje sa sledećim elementima:

- ulaz geodetskih opažanja i geometrijskih informacija,
- formiranje odgovarajućih nezavisnih modela posle prve iteracije,
- proširenje liste modela posle prve iteracije sa novoformiranim modelima, sa redosledom koji i dalje obezbeđuje minimalnu širinu trake,
- promenljive težine svih modelskih tačaka u izravnjanju,
- direktno formiranje redukovanih normalnih jednačina sa više tipova jednačina opažanja za iteracije 2, 3 eventualno 4,
- odgovarajući izlaz podataka.

## 6. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Predloženi postupak kombinovanog izravnjanja može se na prvi pogled činiti teoretski neosnovanim. Naime, nelogično zvuči činjenica da su merene geodetske veličine, a da u izravnjanju učestvuju koordinate. Ali, samo na prvi pogled. Umesto odgovora nameće se novo pitanje, zar i koordinate orijentacionih tačaka nisu rezultat nekih drugih geodetskih opažanja? Naravno da jesu, ali se u klasičnoj primeni aerotriangulacije one ipak tretiraju kao opažanja nultog modela (bez stepena slobode). Prema tome, insistiranje na »teoretskoj čistoci« potkopava temelje čitave metode. Rešenje očigledno leži u nekom budućem inteligentnom totalnom sistemu u kome bi svaka vrsta opažanja u prostoru direktno učestvovala u izravnjanju.

Ako se nastavi ovom logikom razmišljanja, tada se za grupu geometrijskih informacija može doći do suprotnog zaključka. Naime, prirodnije je neku lokalnu osobinu objekta predstaviti lokalnim koordinatnim sistemom nego nekim »fiktivnim« opažanjima.

Konačnu ocenu predloženog postupka kombinovanog izravnjanja može da pruži jedino praksa. U nedostatku većih praktičnih iskustava ovde se mogu napomenuti neke dobre i loše osobine koje bi mogle da bude značajne pri donošenju konačne ocene. Loše osobine su na primer:

- prostorna ograničenost pojedinačnih dodatnih informacija koja zavisi od razmere snimanja,
- ograničen broj dodatnih informacija.

Dobre osobine predloženog postupka bi mogle da budu:

- uštede u orijentacionim tačkama,
- jednostavan ulaz raznovrsnih podataka,
- jednovremeno izravnjanje bez bitnog povećanja računskog vremena,
- relativno male investicije u adaptaciju postojećih programa za klasično izravnjanje bloka.

#### LITERATURA

- [1] Düppe, R. D.: Ein Beitrag zur simultaner Verwendung geodätischen Messungen bei Blockausgleichung nach der Methode der unabhängigen Modelle, Bildmessung und Luftbildwesen, 81—90, 1982.
- [2] Ebner, H.: Combined Adjustment of Photogrammetric and Non-Photogrammetric Information, Presented Paper, Commission III, ISPRS Congress, Rio de Janeiro, 1984.
- [3] Kilpelä, E.: Der Gang der Entwicklung und derzeitige Tendenzen in der photogrammetrischen Triangulation, Bildmessung und Luftbildwesen, 191—197, 1985.
- [4] Kager, H., Kraus, K.: Gemeinsame Ausgleichung photogrammetrischer, geodätischer und fiktiver Beobachtungen, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 8, Wien, 1976.
- [5] Wester-Ebbinghaus, W.: Ein allgemein formuliertes Konzept zur Bildtriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. Presented Paper, Commission III, ISPRS Congress, Rio de Janeiro, 1984.

#### REZIME

U referatu su data osnovna rešenja problema uključivanja geodetskih opažanja i geometrijskih informacija o objektu u fotogrametrijsko izravnjanje bloka nezavisnih modela. Rešenja se zasnivaju na ideji da se od svih dodatnih (nefotogrametrijskih) informacija (pojedinačno, ili u grupi) formiraju takođe lokalni koordinatni sistemi. Pojedinačne osobine ovih informacija uključuju se pravilnim izborom težina fiktivnih opažanja i broja slobodnih parametara lokalnih koordinatnih sistema.

#### ABSTRACT

In the paper, there are given the principal solution the problem of including geodetic observations and geometric information about object in photogrammetric block adjustment with independent models. The solution is based on the conception that all additional (non-photogrammetric) information can

be treated (individually, or in the group) in the local coordinate system too. The individual characteristic of this information are included with proper choice of the weight of the fictive observations and the number of free parameters of the local coordinate system.

Priljeno: 1987-03-30