

STANDARDNA METODA RELATIVNE ORIJENTACIJE PRIBLIŽNO VERTIKALNIH AEROSNIMAKA

Franjo BRAUM — Zagreb*

U [1] izvedena je i opisana jedna metoda relativne orijentacije približno vertikalnih aerosnimaka. Relativna orijentacija predstavlja redoviti i važan problem u korištenju fotogrametrijskih snimaka. Navedena metoda je još dotjerivana u [2] i [3], koja su dotjerivanja uglavnom rezultirala iz praktičkih demonstracija rukovodenih od autora u raznim jugoslavenskim fotogrametrijskim pogonima i nekim inozemnim ustanovama.

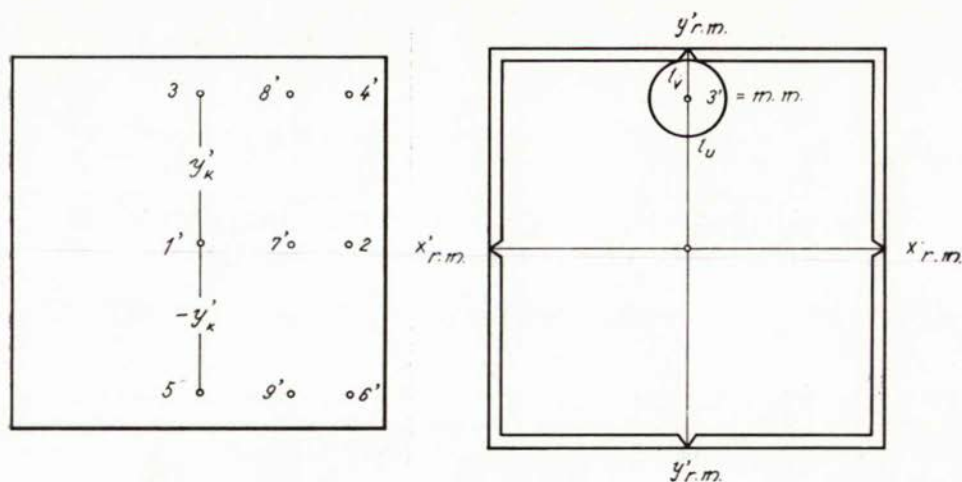
Ta metoda *počinje* određivanjem pogreške $d\Delta\omega$ razlike poprečnih nagiba projektora. Utjecaj pogreške tog orijentacionog elementa na transverzalne paralakse (vertikalparalakse) p_y je ne samo najveći, pogotvo u prosjeku za čitavo stereopolje (v. sl. 33.25 u [2]), već i najkompliciraniji, jer ovisi ne samo o nuklearnoj ravnini (određenoj omjerom $y':f$, točnije rečeno o omjeru $y:z$), već i o samoj stereoprojeksionoj daljini z , što se vidi iz poznate formule (v. (35.87) u [2]):

$$P_{y\omega} = -z \left[1 + \left(\frac{y}{z} \right)^2 \right] d\Delta\omega = -z \left[1 + \left(\frac{y'}{f} \right)^2 \right] d\Delta\omega \quad (1)$$

Tek kada tu pogrešku $d\Delta\omega$ odredimo i potom uklonimo, tek tada možemo efikasno primijeniti prve četiri operacije Gruberovog optičkomehaničkog postupka (v. 3.3.5.1.2.2.1. u [2]), da bismo odredili i druge elemente relativne orijentacije α , b_y , φ , b_z . Stoga je uputno te četiri operacije uključivati iza svakog određivanja i uklanjanja pogreške $d\Delta\omega$, i to s onom brižljivošću koja je primjerena točnosti s kojom je element $\Delta\omega$ već određen. Prema tome, ako je početna pogreška $d\Delta\omega$ bila vrlo velika, možemo očekivati i veću apsolutnu pogrešku tog određivanja, pa treba navedene četiri operacije Gruberovog postupka nakon toga provesti *ekspeditivno*, tj. brzo i bez ponavljanja, s jedinom svrhom da uklonimo tek grube pogreške ostalih orijentacionih elemenata, pa da potom provjerimo odnosno ponovimo određivanje i uklanjanje preostale još pogreške $d\Delta\omega$.

Za određivanje pogreške $d\Delta\omega$ potrebno je poništiti odn. izmjeriti transverzalu paralaksu p_y u trima točkama (= p_y -točke) jednog te istog poprečnog profila $x = \text{const}$. Da bi to određivanje bilo jednostavnije, te su 3 točke smještene na snimku pravilno (sl. 1), tj. 3' i 5' simetrično oko glavne točke 1' odn. 4' i 6' simetrično oko glavne točke 2' odn. 8' i 9' simetrično oko točke 7', koja se nalazi u apscisnoj osi $x'x'$.

* Adresa autora: Prof. dr. Franjo Braum — Zagreb, Geodetski fakultet Kačićeva 26.



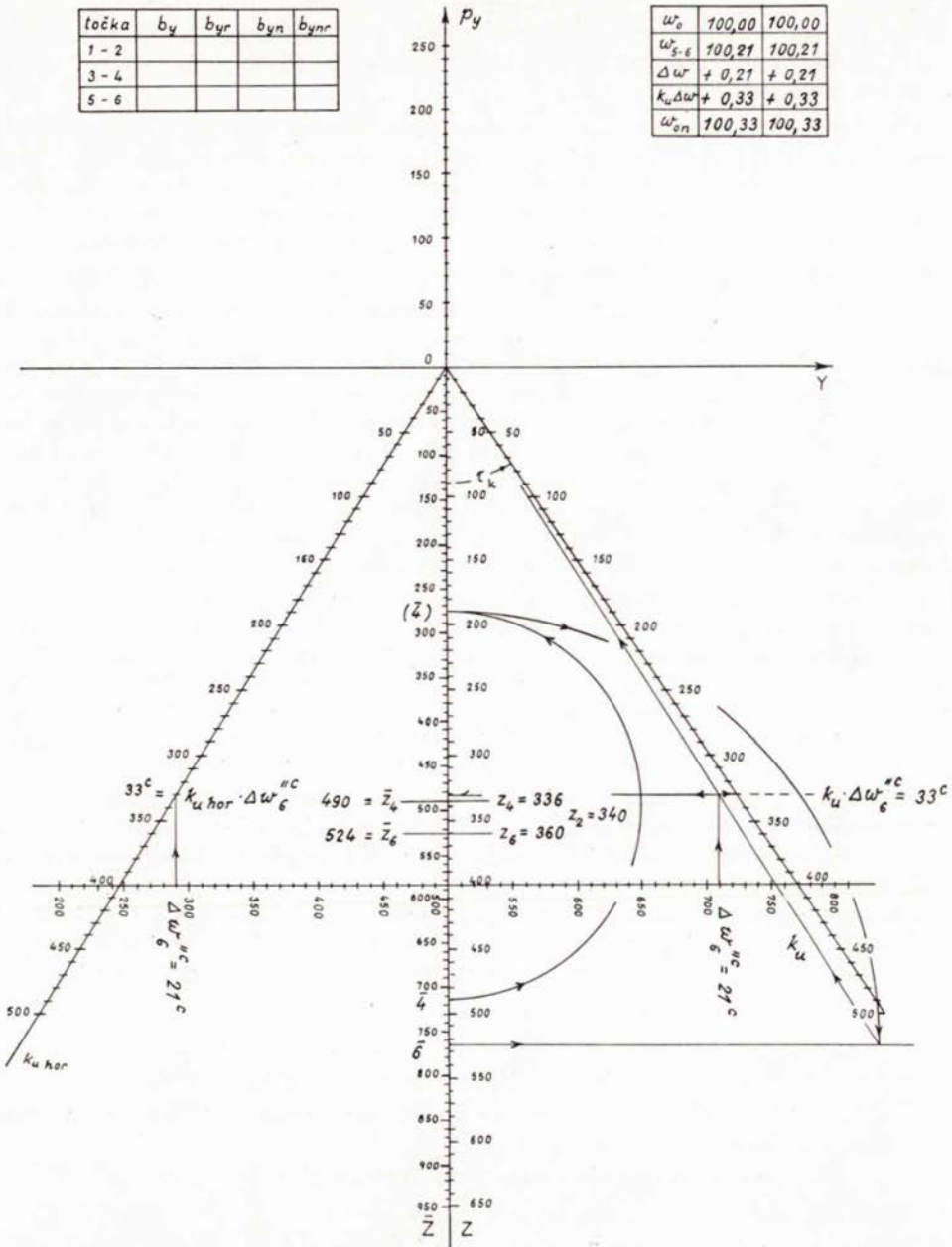
Slika 1

Metoda je prvotno bila namjenjena za Autograph A8 Wild [1], koji se u Jugoslaviji u velikom broju afirmirao. Kako na A8 ne možemo direktno mjeriti y -paralaksu pomakom b_y , to je problem pojednostavljen time da se u glavnoj točki (recimo 2') i jednoj uglovnoj p_y -točki (recimo 4') y -paralaksa istovremeno poništi (najprije u 2' pomoću x' ili b_y , a zatim u 4' pomoću φ' ili b_z , ukoliko na stereoinstrumentu postoje b_y - i b_z -postavi). Potom se u trećoj p_y -točki 6' y -paralaksa izmjeri pomoću ω'' . Da bi se uzelo u obzir i visine p_y -točaka, očita se za svaku točku njena stereoprojeksiona daljina z (ne njena nadmorska visina h !), pošto se u dotičnoj točki izvršila stereoskopska koincidencija. S markacijama na podložnoj staklenoj ploči projektora i sa z -očitanjima određen je međusobni položaj projekcionog središta O'' i p_y točka 4, 2, 6 u poprečnom profilu $x = b$. To omogućuje na konstrukcionoj podlozi (sl. 2). laganu grafičku konstrukciju pravca k_u prekorekture za element ω'' . Tangens pravca k_u množen grafički s promjenom elemenata ω'' , koja je bila potrebna da se ukloni y -paralaksa u točki 6, daje pogrešku $d\Delta\omega = d\omega''$. Za horizontalne terene taj je k_u pravac a priori poznat, te je već odštampan na konstrukcionoj podlozi (sl. 2, lijevo), pa njegova konstrukcija, kao i z -očitanja za p_y -točke, otpadaju.

Da se stereoprojeksiona daljina z ne bi više mijenjala u daljnjem mjernom toku, bolje je (što se tiče brzine u postizavanju relativne orijentacije) upotrijebiti za poništavanje y -paralakse u točkama 4 odn. 6 element b''_z odn. ω'' , a ne φ' ili b'_z odn. ω' , ukoliko se koristi desni nadirni poprečni profil (v. p_x -dijagrame na sl. 33.20 i 25 u [2]), no to nije moguće na svim stereoinstrumentima. Ako se preporučeni izbor ne primjeni, bilo zbog instrumentalnih nemogućnosti, bilo zbog iskorištavanja prednosti i priključivanja, treba z_2 očitavati nakon završene φ' — ili b'_z -promjene, dok će upotreba elemenata ω' umjesto ω'' nešto smanjiti konvergentnost procesa. Na stereoinstrumentima Autographu A8 i Avigraphu B8 nema b_y — ni b_z -mogućnosti, na Autographu A10 i Stereometrographu nema b'_y - ni b''_z -mogućnosti. Prema tome je za stereoinstrumente A10, Stereometrographa... najzgodnije određivati pogrešku $d\Delta\omega$ u lijevom nadirnom po-

točka	b_y	b_{yr}	b_{yn}	b_{ynr}
1 - 2				
3 - 4				
5 - 6				

ω_o	100,00	100,00
$\omega_{s,\epsilon}$	100,21	100,21
$\Delta \omega$	+ 0,21	+ 0,21
$k_u \Delta \omega$	+ 0,33	+ 0,33
ω_{on}	100,33	100,33



Slika 2

prečnom profilu, dok su za stereoinstrumente B8, A8, A7, C5, C8... lijevi i desni nadirni poprečni profili ekvivalentni, pa se zbog prednosti priključivanja preferira nadirni poprečni profil priključivanog projektora.

Prigodom praktičnih provjeravanja konstatirala su se odnosno potvrdila sljedeća svojstva prikazane metode:

1) Metoda pretpostavlja pravilan slikovni rasporedaj triju p_y -točaka u istom poprečnom profilu $x = \text{const}$ (sl. 1). U pravilu se uzima desni (p_y -točke 4, 2, 6) ili lijevi (p_y -točke 3, 1, 5) nadirni poprečni profil. Eventualne stereoskopske praznine između tih točaka nisu dakako ni od kakve važnosti za tu operaciju. Slikovna ordinata y'_k odn. $-y'_k$ točka 3, 8, 4 odn. 5, 9, 6 treba biti optimalna za dani format snimka (danas gotovo isključivo 23×23 cm).

2) Pravilan rasporedaj p_y -točaka 1-6, navedena u 1), mora u svrhu njihovog lakšeg i bržeg pronalaženja biti markiran na podložnim staklenim pločama projektora. To je uvijek slučaj s glavnim točkama 1' odn. 2'. Prije je to bio uzus i za ostale točke 3', 4', 5', 6', dok to danas firme često ne rade¹⁾, pa je to potrebno pri narudžbi posebno zatražiti ili te markacije dati naknadno nanijeti. Ako se ne koristi nadirni poprečni profil $x = 0$ ili $x = b$ (npr. ako je u njima pravilan slikovni rasporedaj p_y -točaka onemogućen vodenom površinom), onda se ne mogu ni koristiti markacije na podložnoj staklenoj ploči projektora. Za takve slučajeve (p_y -točke 8', 7', 9' na sl. 1) prikladniji su stereoinstrumenti s b_y - i b_z -mogućnosti, da bi se s tim elementima poništavale y -paralakse.

Isti poprečni profil i pravilan slikovni rasporedaj p_y -točaka u njemu ostvaruje se pomoću transparentne trake s pravocrtnim bridom, na kojem su naznačene tri poprečne crtice na razmaku od y'_k . Ta se traka namjesti iznad snimka (odn. privremeno prilijepi) na mjestu željenog poprečnog profila, tako da brid bude paralelan s y' -osi snimka, a poprečne crtice padnu simetrično obzirom na mjerni okvir. Takva se traka može koristiti i za nadirni poprečni profil ako ne postoje markacije za točke 3' i 5' odn. 4' i 6', u kojem slučaju srednja poprečna crtica trake treba doći iznad glavne točke (u svakom slučaju ugravirane na podložnoj staklenoj ploči projektora). Takve se trake mogu dapače ostaviti i za vrijeme restitucije, e da bi se spriječilo restitutora da kartira izvan nadirnih poprečnih profila.

Određena slikovna ordinata $y'_k = 103,2$ mm odn. $-y'_k$ može se i bez dotične markacije i bez navedene transparentne trake postići koristeći rubne y' -marke koje se nalaze na sredini slikovnog mjernog okvira, i to na sljedeći način:

a) Kod 8X-strukog povećanja okulara Autographa A10 Wild:

- 1) S vanjskim rubom kružnog vidnog polja okulara v.p.o. (sl. 3) tangira se slikovni mjerni okvir na mjestu (šiljaste) rubne y' -marke $y'_{r.m.}$
- 2) Položaj koji pri tom zauzme mjerna marka m.m. imat će približno traženu slikovnu ordinatu $y' \approx y'_k = 103,2$ mm.

b) Kod 10X-strukog povećanja okulara na Autographu A7 Wild:

- 1) = 1) kod a)
- 2) Položaj koji pri tom zauzme unutarnji rub kružnog vidnog polja okulara v.p.o. imat će približno traženu slikovnu ordinatu $y' \approx y'_k = 103,2$ mm.

¹⁾ Interesanti za naknadno nanošenje markacija neka se, radi povoljnije cijene za veći broj narudžbi, obrate na Zavod za fotogrametriju Geode'skog fakulteta, Zagreb, Kačićeva 26.

3) Provedba metode je znatno olakšana upotrebom štampanih konstrukcionih podloga (sl. 2), koje važe za određenu žarišnu daljinu f i određenu slikovnu ordinatu y^k odn. $-y^k$ točka 3,4 odn. 5,6.

4) Uz ispunjeni uvjet 1) metoda daje teoretski egzaktne vrijednosti orijentacionih elemenata za proizvoljne različite visine p_y -točaka. Konstrukciona podloga sadrži već naštampano sve što je zajedničko svim primjerima. Svaka se podloga može za brdovite terene upotrebiti dva puta (u različitim bojama, a za ravničaste terene više puta.²⁾

5) S tom metodom dobivaju se odmah vrlo točne vrijednosti za orijentacioni element $d\Delta\omega$, čak i u slučaju velikih početnih pogrešaka orijentacionih elemenata. Time se znatno ubrzava postupak relativne orijentacije čak i za ravničaste terene, a pogotovo za brdovite.

6) Za provedbu metode nisu potrebni nikakvi dodatni uređaji, kao kompjuteri, automatski registratori koordinata . . . , već samo pravokutan trokut i šestar.

Prema tome ta metoda nije ovisna ni o kakvim kvarovima, ni zastojeima u dodatnim uređajima (ona je jeftina i »betriebsicher«).

7) Kako nisu potrebna nikakva računanja, već samo jednostavna grafička konstrukcija (sl. 2), olakšana do maksimuma konstrukcionom podlogom, to se reitutor lako uputi u tu metodu. Pridržavajući se strogo uputa za upotrebu (v. str. 153-155 u [2] i str. 2 u [3]) mogućnost da se pogriješi je minimalna, i reitutor će sigurno i brzo doći do optimalnog rezultata.

8) Ne samo da nisu potrebna nikakva računanja, već se praktički može proći i bez ikakvih zapisivanja. Potrebno je na stereoinstrumentu samo jedno jedino mjerno očitavanje orijentacionog elementa ω , tri z-očitavanja na centimetarskoj z-skali (procjenjujući milimetre od oka), te prethodni nulpostav kutnih orijentacionih elemenata, što se može namjestiti lako i bez opasnosti da se pogriješi. To sve dakako ubrzava postupak.

9) Metoda je elastična u tom smislu, što ju se može provesti, bar ponajprije, bez jedne od uglovnih p_y -točaka (3, 4, 5 ili 6) (to svojstvo posjeduje i Gruberov optičkomehanički postupak). Naravno da će se izostaviti ona uglovna p_y -točka u kojoj je stereoskopski efekt nemoguć (voda . . .) ili otežan (tamna šuma, pijesak bez detalja . . .). Pri raznim izborima p_y -točaka i redosljedima operacija treba paziti na to da se pri konstrukciji pravca k_u prekorekture (sl. 2) ona točka \bar{m} zarotira za 180° oko središnje p_y -točke u os Z , kojoj pripada p_y -točka m u kojoj se y -paralaksa poništila sa φ ili b_z , a da se horizontalala udesno povlači od one točke n , kojoj pripada p_y -točka n u kojoj se y -paralaksa poništila sa ω .

10) Od stereoinstrumenta se traži jedino mogućnost očitavanja stereoprojekcionih daljina z i ω -mikrometar. Tu mogućnost imaju svi u Jugoslaviji upotrebljavani stereoinstrumenti: Zeisovi Stereoplanigraphi, Wildovi Autographi i Stereometrographi, Topocarti . . . Wildovi Aviographi provideni su također s ω -mikrometrom, dok se mogućnost z-očitavanja može lako naknadno konstruirati.

Ove prednosti možemo rezimirati u:

- a) široka neovisnost metode od vrsti terena (momenti 1, 4 i 9);
- b) široka neovisnost metode od vrste stereoinstrumenta (momenti 2, 6 i 10);

²⁾ Konstrukcione podloge mogu se nabaviti u Zavodu za fotogrametriju Geod. fakulteta, i to direktno proizvoljne količine, a poštom količine od 50 komada na više.

- c) metoda je točna i brza (momenti 3, 4, 5, 7 i 8);
 d) metoda je jednostavna, mogućnost da se pogriješni minimalna, te je svaki restitutor može lako svladati (momenti 3, 6, 7 i 8);
 e) metoda ne traži nikakvih dodatnih investicija (moment 6).

Svojstva a), b), c), d) i e) su atributi, po kojima ta metoda zaslužuje da se ona nazove standardnom i da se kao takvu upotrebljava. Za bolje i potpunije upoznavanje te metode naš se interesant upućuje na literaturu [2] i [3].

Uobičajeno shvaćanje da slikovna ordinata y'_k uglovnih p_y -točaka treba biti jednaka preslikanoj horizontalnoj projekciji b' baze odgovara tek približno, ali ne optimalno. Jasno je da y'_k ovisi o formatu snimka, a iz formule (1) vidi se da veći y'_k daje veći koeficijent za utjecaj pogreške $d\Delta\omega$ na y -paralakse, pa je to matematski povoljnije. Međutim tu ne smijemo pretjerati, jer iz više razloga (v. sl. 3 u [4]) moramo izbjegavati rub snimka. Potreban odmak od ruba snimka je prilično neovisan o formatu snimka, pa će optimalan y'_k biti za veće aeroformate 23×23 cm veći od b' , za manje 14×14 cm manji od b' , a za srednje formate 18×18 cm jednak b' . Za format 23×23 cm dobar se pokazao iznos $y'_k = 103,2$ mm, pa sam za tu veličinu i konstruirao konstrukcione podloge za sve uobičajene žarišne daljine.

LITERATURA

- [1] F. Braum: »Die gegenseitige Orientierung an dem Autographen A8 Wild für beliebige und regelmässige Fälle«, Zbornik radova Geodetskog fakulteta u Zagrebu, (=ZR) publ. br. 14, Zagreb 1976.
 [2] F. Braum: »Nutarnja i relativna orijentacija snimaka«, Sveučilište Zagreb, 1976.
 [3] F. Braum: »Konstrukciona podloga za određivanje pogreške $d\Delta\omega$ razlike poprečnih nagiba pri pravilnom slikovnom raspoređaju p_y -tačaka« ZR, publ. br. 18, 1977.
 [4] F. Braum: »Teorija stereofotogrametrijskih pogrešaka«, ZR, publ. br. 7, 1970.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Aufsatz wird das in [1], [2] und [3] dargelegte Verfahren für die relative Orientierung der Luftbilder kurz beschrieben. Dieses Verfahren ist weitgehend unabhängig von der Geländeart und dem Auswertegerätetyp, es benötigt keine zusätzliche Einrichtungen, ist mit minimaler Anzahl der abzulesenden Angaben durchführbar ohne jegliche Rechnung und Aufschreibung und ergibt auch bei grossen Anfangsfehlern gleich sehr genaue Ergebnisse. Da es noch dazu dank dem gedruckten Konstruktionsbehelf sehr leicht und schnell verläuft, wird es als »Standardverfahren für die relative Orientierung« bezeichnet.

Im Aufsatz sind u. a. für verschiedene Auswertegeräte praktische Hinweise gegeben in Bezug auf die günstigste Auswahl des Querprofils und der zur Beseitigung der Vertikalparallaxe einzusetzenden Orientierungselemente und in bezug auf das Auffinden der P_y -Punkte wenn derer Lage nicht auf der Unterlageglasplatte eingraviert sind (wobei man des Gesichtsfeld des Okulars zur Hilfe gezogen kann).