

PRIMJENA KRIŽNE LIBELE ZA OPTIČKOMEHANIČKI PRIJENOS I TRANSFORMACIJU NAGIBA AEROSNIMKA

Dubravka MEDIĆ — Zagreb*

Križna libela (sl. 3) upotrebljava se za direktan prijenos nagiba prigodom aeropoligonizacije kada zakošenje α ostaje isto (npr. na A10) ili za transformaciju nagiba kada se zakošenje mijenja (npr. kod prelaza od A7 na A8).

Najčešća upotreba križnih libela je ona pri priključivanju aerosnimaka istog niza na onim projekcionim stereoinstrumentima kod kojih ne postoje svi orijentacioni elementi za direktnu aeropoligonizaciju (A10, A8).

Budući da horizontacija modela za čitav niz ne ostaje ista zbog zakrivljenosti Zemlje, to bi prema [1] uzdužnom nagibu prenesenom s križnom libelom pri priključivanju udesno trebalo dodati konvergenciju (sl. 1):

$$\delta \gamma^c = b_{[km]}. \quad (1)$$

Ovaj jednostavan odnos objašnjen je u [2] u opasci na str. 278. Iz formule (1) se vidi da je taj iznos proporcionalan s bazom b i da je on prema tome veći kod širokokutnih snimaka i pogotovo kod sitnijih mjerila snimanja.

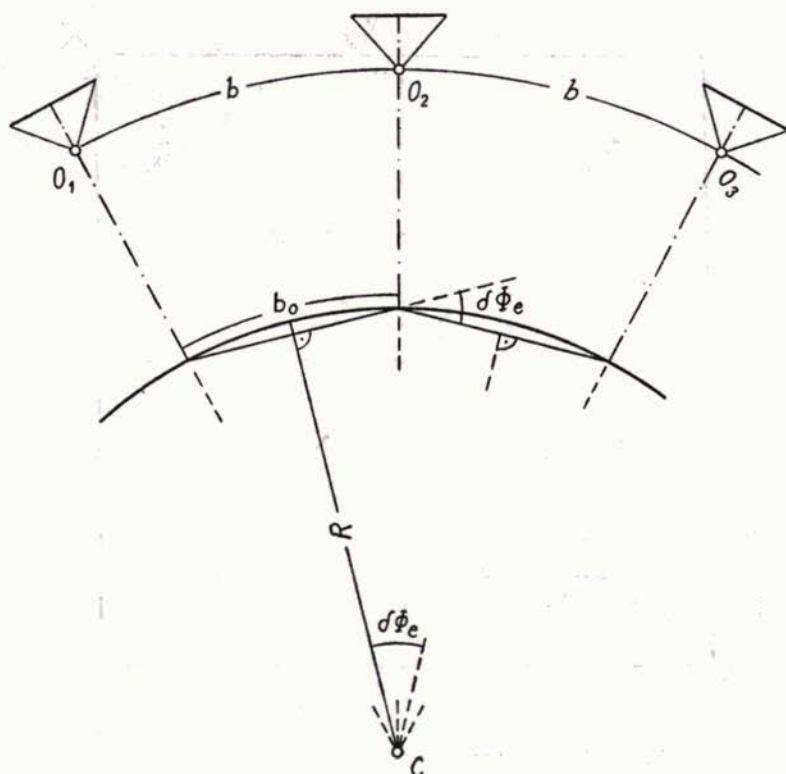
Križna libela je potrebna i u vanjskoj orijentaciji. Da bismo u vanjskoj orijentaciji aerosnimaka na projekcionim stereoinstrumentima (vidi poglavlje 345. u [2]) odvojili utjecaj poprečnog nagiba ω na Δ_x -komponentu (sl. 2, odnosno γ_{bx} kod redresiranja) na krajevima nekoincidirane dijagonale od utjecaja uzdužnog nagiba φ (odnosno γ_{by} kod redresiranja) stavlja se orijentacioni element α na nulvrijednost (što je kod dvoosovinskog redresera SEG V i jedini mogući postav). Kako su lijevi i desni snimak vanjski orijentirani pri vrijednostima $\alpha' = 0$ i $\alpha'' = 0$, treba ih potom relativno orijentirati, u koju svrhu moramo općenito bar jedan od zakošenja promijeniti na vrijednost $\alpha \neq 0$. Nadirni otklon kao rezultanta uzdužnog i poprečnog nagiba

$$\gamma = \omega + \varphi \quad (2)$$

mora ostati jednak za svaki postav α . Formula (2) važi za malene vrijednosti, a to je redoviti slučaj u aerofotogrametriji. Međutim omjer komponenta $\omega : \varphi$ nadirnog otklona γ mijenja se pri promjeni postava elemenata α :

* Adresa autora: Dubravka Medić, dipl. inž. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb Kačićeva 26.

Ovaj rad izrađen je uz financijsku pomoć SIZ-a III za znanstveni zadatak T. 3 projekta 41: Prostorno uređenje i zaštita čovjekove okoline.



Sl. 1. Promjena uzdužnog nagiba kao elementa vanjske orijentacije za posredni snimak prigodom priključivanja uslijed Zemljine zakrivljenosti. [1]

$$\varphi_0 : \omega_0 \neq \varphi_x : \omega_x. \quad (3)$$

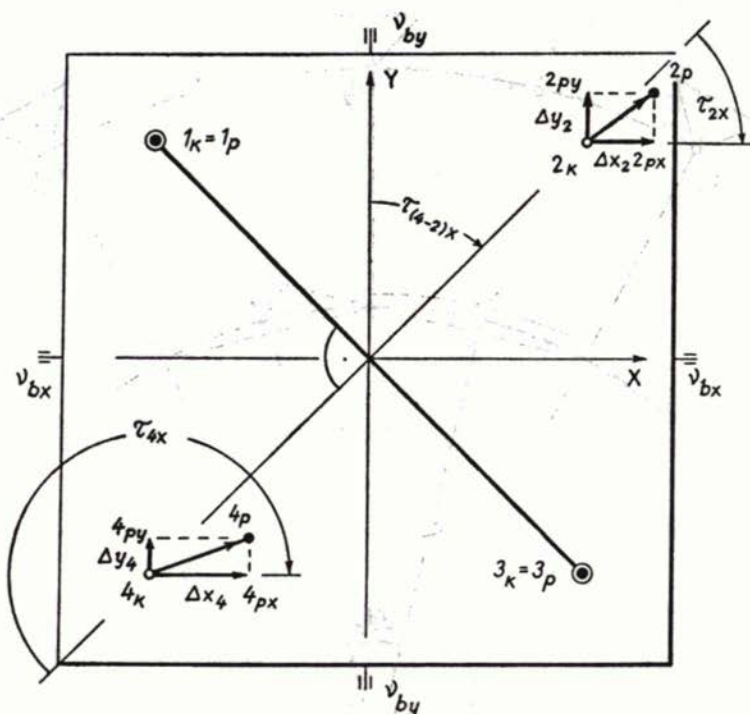
Uzmimo npr. da je postojao samo uzdužni nagib φ , a poprečni ω da je bio jednak nuli (sl. 3). Prema tome slikovna os y' predstavlja glavnu horizontalu snimka, a slikovna os x' glavnu padnicu snimka. Kod postava $\kappa = 0$ (puno izvučeno na sl. 3) libela 2 vrhuniti će kod srednjeg postava svog vijka, a libela 1 kod njenog uzdignutog lijevog kraja. Ako promijenimo postav κ za $\Delta\kappa = 100^\circ$ u smjeru obrnutom kazaljci na satu, doći će libela 1 iz položaja 1_0 u položaj 1_{100} , a osi x' i y' iz punom crtom označenog položaja u crtkano naznačeni položaj, tj. os x' (glavna padnica će najprije doći u horizontalan položaj, a os y' (glavna horizontala) u za φ nagnuti položaj. Ni libela 1 u položaju 1_{100} , ni libela 2 u položaju 2_{100} neće odmah vrhuniti. Ako sada libelu 1 navrhunimo sa ω , bit će os x' opet nagnuta za kut φ , a navrhunivši libelu 2 sa φ doći će os y' opet u horizontalan položaj.

Za općenitu vrijednost elemenata κ imamo odnos (sl. 4):

$$\omega_0 = \omega_x \cos \kappa + \varphi_x \sin \kappa, \quad (4)$$

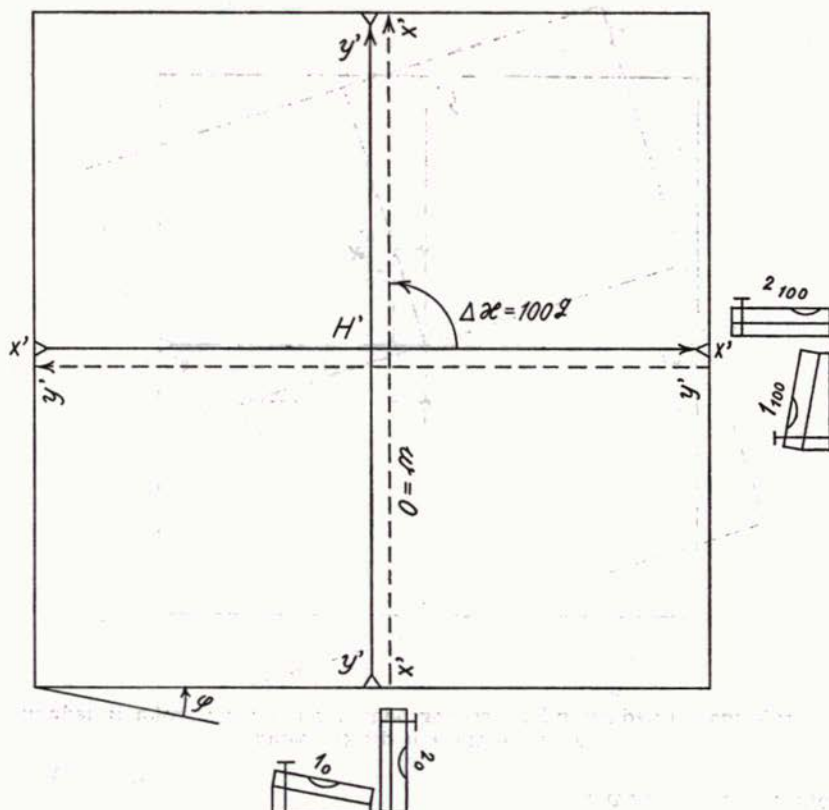
$$\varphi_0 = \varphi_x \cos \kappa - \omega_x \sin \kappa. \quad (5)$$

To su formule transformacije.

Sl. 2. Početno određivanje elemenata γ_{bx} i γ_{by} . [2]

Ovo prevođenje nagiba pri postavu $\alpha = 0$ na vrijednost pri postavu $\alpha \neq 0$ ili obrnuto može se optičkomehanički postići križnom libelom. U zadatku »Spitze« [3] praktički je dokazano za snimke 054-056 da je jednostavniji optičkomehanički postupak s križnom libelom ravnopravan računskom postupku po formulama (4 i 5). Vrijednosti nagiba, koje su radi brzine u radu dobivene vrhunjenjem križne libele, kontrolirane su kasnije po strogim formulama (4 i 5). U stereoparovima dobivene su ove vrijednosti:

stereopar	točan računski postupak	postupak s križnom libelom
057—056	$\varphi_0 = -4^{\circ}387$ $\omega_0 = -0^{\circ}829$	$\varphi_0 = -4^{\circ}39$ $\omega_0 = -0^{\circ}83$
055—056	$\varphi_0 = -4^{\circ}388$ $\omega_0 = -0^{\circ}875$	$\varphi_0 = -4^{\circ}39$ $\omega_0 = -0^{\circ}88$
055—054	$\varphi_0 = -1^{\circ}445$ $\omega_0 = -0^{\circ}891$	$\varphi_0 = -1^{\circ}44$ $\omega_0 = -0^{\circ}90$
053—054	$\varphi_0 = -1^{\circ}467$ $\omega_0 = -0^{\circ}893$	$\varphi_0 = -1^{\circ}46$ $\omega_0 = -0^{\circ}89$



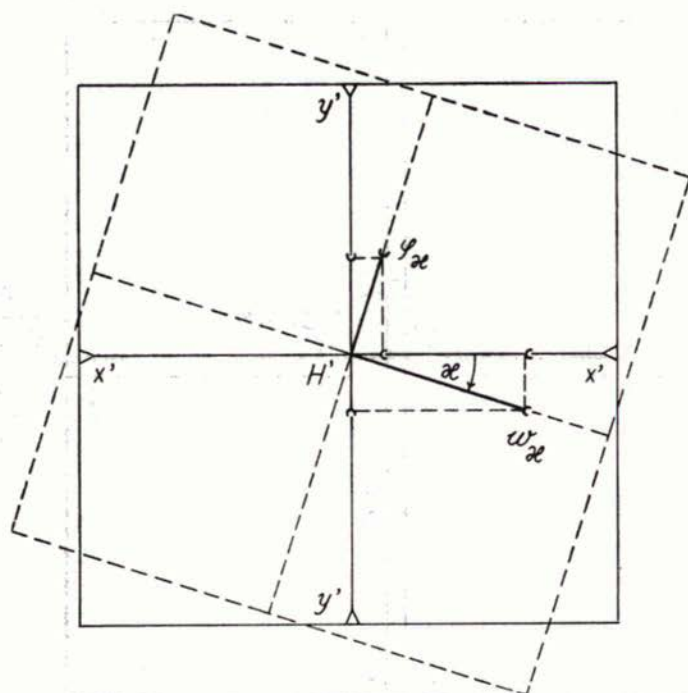
Sl. 3. Neovisnost smjera slikovne padnice i horizontale na snimku i veličine nadirnog otklona o postavu zakošenja x na projekcionom stereoinstrumentu pri upotrebi navrhunjenih križnih libela; nakon promjene zakošenja za Δx bit će za vrhunjenje križne libele potrebno horizontirati novi (crtkani) smjer y' , a nagnuti novi smjer x' , čime će y' opet predstavljati horizontalu snimka, a smjer x' njegovu padnicu.

Da bi s križnom libelom postigli tako točne rezultate, potrebno je vrhunjenje y -libele (2 na sl. 3) promatrati odozgo, a ne sa strane. U tom ispitivanju »Spitze« rezultati dobiveni križnom libelom bili su očitani samo na 1° .

Da bismo po potrebi očitali u minutama odnosno sekundama odstupanja križnih libela, odredili smo, odnosno ispitili, vrijednost parsu križne libele, i to po ovom postupku:

1. Pri $\omega_0 = 100^g = \varphi_0$ stavljena je na okvir kazete križna libela i navrhunjena.
2. Nagnuti su ω i φ dok se na libelama ne dobije otklon od 5 parsu i očitani ω_5 i φ_5 .
3. Izračunata je vrijednost 1 parsu:

$$1 \text{ pars} = \frac{\omega_5 - \omega_0}{5} = \frac{\varphi_5 - \varphi_0}{5}.$$



Sl. 4. Transformacija uzdužnog i poprečnog nagiba φ i ω aerosnimka iz jednog stava zakošenja x u drugi postav.

Dobiveni su ovi rezultati:

$$\begin{array}{r} \omega' 99^{\circ}794 \\ 99^{\circ}761 \\ \hline 0^{\circ}033 = 5 \text{ pars} \end{array} \qquad \begin{array}{r} \varphi' 99^{\circ}460 \\ 99^{\circ}428 \\ \hline 0^{\circ}032 = 5 \text{ pars} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \omega'' 99^{\circ}745 \\ 99^{\circ}776 \\ \hline 0^{\circ}031 = 5 \text{ pars} \end{array} \qquad \begin{array}{r} \varphi'' 99^{\circ}440 \\ 99^{\circ}472 \\ \hline 0^{\circ}032 = 5 \text{ pars} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{izjednačeni } 1 \text{ pars} &= [2^{\circ}8 : 20] = 0^{\circ}64 = (90 \cdot 60 : 100 \cdot 100) 0^{\circ}64 = 0^{\circ}3456 = \\ &= 20^{\circ}7 \approx 20'' \end{aligned}$$

Razliku od $0^{\circ}7$ pripisujem pogreškama mjerenja i mrtvom hodu ω - i φ -vretena.

Križna libela potrebna je i za prebacivanje stereopara sa stereoinstrumenta A8 na A7 odn. A10 i obrnuto. Za sve slučajeve ovog prebacivanja dane su u poglavlju 344.1 u [2] stroge formule (3441.1—14). Međutim autor je smatrao da je praktičnije upotrijebiti približne formule (3442.1—22), koje omogućuju mnogo lakše preračunavanje. To je učinjeno u poglavlju 344.2. Ovo pojednostavljenje postignuto je zanemarivanjem utjecaja $\kappa_{A7} \neq \kappa_{A8}$, koja je nejednakost prouzročena okolnošću da na stereoinstrumentu A8 nemamo b'_y - i b''_y -mogućnost.

Tabela 1.

Numerički primjeri za prijelaz od orijentacionih elemenata sa A7 na orijentacione elemente na A8 i obrnuto

prenašani element

Stereoinstrument	stereopar	o č i t a n j a							m_m
		ω''	ω''	φ''	φ''	Φ''	b_x (mm)	$\frac{b_x''}{b_z''}$ db_x (mm)	
A7	128—124	99.57	99.55	100.34	100.21		169.17	0.35 0.72 -0.37	4.000
	5—9	98.54	98.18	99.27	100.17		188.23	1.85 0.00 + 1.85	
A8	5—9	98.60	98.20	99.84	100.70	99.26	189.20		
	128—124	99.53	99.51	100.21	100.04	100.10	169.22		
preneseni elementi									
A8	128—124								4.000
	a	99.57	99.55	100.20	100.07	100.14	169.2		
	b	99.57	99.55	100.20	100.06	100.13			
	c	99.53	99.51	100.21	100.04	100.10			
	d	+ 0.04	+ 0.04	-0.01	+ 0.02	+ 0.03			
	e	+ 0.04	+ 0.04	-0.01	+ 0.03	+ 0.04			
	5—9								
	a	98.54	98.18	99.90	100.80	99.37	189.2		
	b	98.58	98.23	99.96	100.66	99.37			
	c	98.60	98.20	99.84	100.70	99.26			
d	-0.02	+ 0.03	+ 0.12	-0.04	+ 0.11				
e	-0.06	-0.02	+ 0.06	+ 0.10	+ 0.11				
A7	5—9						189.2		
	a	98.60	98.20	99.10	99.96				
	b	98.55	98.20	99.23	100.11				
	c	98.54	98.18	99.27	100.17				
	d	+ 0.01	+ 0.02	-0.04	-0.06				
	e	+ 0.06	+ 0.02	-0.11	-0.21				
	128—124						169.2		
	a	99.53	99.51	100.31	100.14				
	b	99.53	99.51	100.31	100.14				
	c	99.57	99.55	100.34	100.21				
d=e	-0.04	-0.04	-0.03	-0.07					

a nagibi preračunati po formulama 3442. 8, 9, 17 i 18 iz [2]

b vrijednosti dobivene operacijama 1. — 4. (vidi str. 258)

c definitivne vrijednosti

d odstupanja b—c

e odstupanja a—c

Zbog ovog zanemarivanja utjecaja $\kappa_{A7} \neq \kappa_{A8}$ približne vrijednosti (3442.1—22) neće dati definitivne vrijednosti orijentacionih elemenata ω i φ .

Međutim autor je na str. 133 u [2] upozorio da se okolnost $\kappa_{A7} \neq \kappa_{A8}$ može uzeti u obzir optičkomehanički pomoću križnih libela, čime se trebaju odmah dobiti definitivne ili gotovo definitivne vrijednosti obaju nagiba za obadva projektor.

Da bi se ispitalo koja se točnost dobije upotrebivši približne formule i križne libele, obradili smo primjere zadatka »Cazma«, model 5-9 i 124-128 na slijedeći način:

1. preuzeti su za svaki projektor od A8 orijentacioni elementi κ , ω i φ sa A7 (b , Φ , ω' , ω'' , φ' , φ'' po formulama 3442.8,9,17 i 18 iz [2]), (vidi tabelu 1),
2. stavljena je na svaki projektor križna libela i navrhunjena pomoću njenih vijaka,
3. uklonjene su u pojasu baze y-paralakse sa κ' i κ'' (to je vrlo jednostavna operacija),
4. odstupanja na križnim libelama, prouzročena mijenjanjem zakošenja κ' i κ'' , uklonjena su pomoću φ' i ω' odnosno φ'' i ω'' .

Analogan postupak važi za prijelaz od A8 na A7 ili A10. Kao što se vidi, za taj su postupak potrebne dvije križne libele, za svaki projektor po jedna. Takvim postupkom dobijeni rezultati smješteni su u tabeli 1.

Iz razlike vrijednosti d-e u tab. 1 vidi se da je upotreba križnih libela dala mnogo bolje rezultate za stereopar 5-9, u kojem je razlika κ -vrijednosti na A7 i A8 iznosila čak 4⁹94. Ta je razlika uvjetovana b_y -komponentom na A7, koja je u tom primjeru iznosila: $b''_y - b'_y = 14,10 - 0 = 14,10$ mm. Prema tome upotreba križne libele je to korisnija što je komponenta baze b_y veća.

Sitna neslaganja između konvencionalne metode i metode s križnim libelama su neminovna zbog nesavršene rektifikacije jednog i drugog stereo-instrumenta, mrtvog hoda i (nešto) različitog centriranja snimka.

LITERATURA

- [1] Braum F.: »Grafičko rješenje i izjednačenje aeropoligoniranog niza sitnog mjerila«, Zbornik radova Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, publikacija br. 5, 1968.
- [2] Braum F.: »Apsolutna orijentacija i deformacija modela«, Sveučilište u Zagrebu, 1980.
- [3] Medić Dubravka: »Točnost vanjske orijentacije pojedinačnih aerosnimaka i prikladnost te orijentacije za podvostručenje razmaka između orijentacionih točaka u smjeru leta«. (u pripremi za štampu)

SAŽETAK

Primjena križne libele je trovrсна. Pomoću nje se na projekcionim stereo-instrumentima na kojima nije omogućeno direktno priključivanje aerosnimaka i aeropoligonizacija prenosi nagib posrednog projektor iz jednog mo-

delu u slijedeći model. To daje ispravnu relativnu orijentaciju između ta dva modela, dok vanjska orijentacija posrednog snimka u priključenom modelu zahtjeva korekciju (1) zbog zakrivljenosti Zemlje (sl. 1).

Vanjska orijentacija pojedinačnih aerosnimaka vrši se pri postavu zakšjenja $\chi = 0$, a potom se pri relativnoj orijentaciji dvaju susjednih vanjski orijentiranih projektoru općenito mora bar jedan χ mijenjati. Time se potrebna transformacija poprečnog i uzdužnog nagiba (4 i 5), prikazana na sl. 4, može bez ikakva računanja izvesti precizno pomoću križne libele.

Ovakvu optičkomehaničku transformaciju nagiba može se iskoristiti i za precizan prijenos orijentacionih podataka sa A7 ili A10 na A8 i obratno (tab. 1).

ABSTRACT

The cross levels can be applied in the aerial photogrammetry in three cases. The lateral and longitudinal tilt of the projector can be transmitted from one model to the next one at the plotting machines which do not enable a direct bridging. A correct relative orientation between these two models is obtained with the help of the cross levels, but the exterior orientation in the connected model has to be corrected for the amount (1) in consequence of the Earth curvature (fig. 1).

The exterior orientation of the single aerial photographs is carried out at the swing value $\chi = 0$, and afterwards at least one of the swings must generally be changed during the relative orientation of the two successive and oriented projectors. The necessary transformation of the projector tilts can be performed precisely by the help of the cross levels.

Such opticalmechanical transformation of the lateral and longitudinal tilt can be applied too for the transmission of the orientation dates from A7 or A10 to A8 and vice versa (table 1).

Primljeno: 1982-09-15