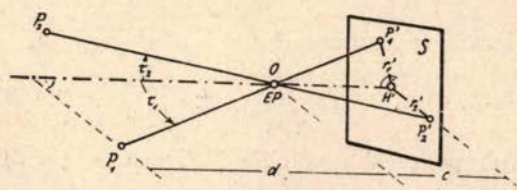


O unutarnjoj orijentaciji fotogrametrijskog snimka i nekim njezinim posebnim problemima

Svrha

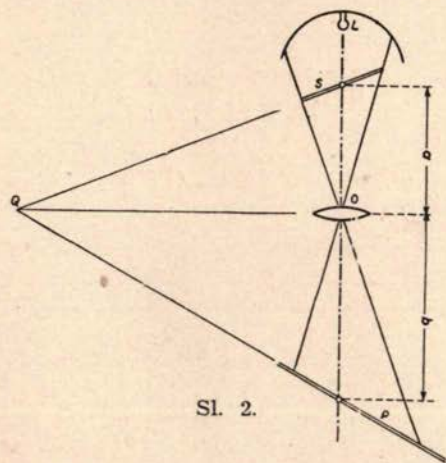
Svrha je unutarnje orijentacije fotogrametrijskog snimka da se u prostoru rekonstruiranog područja stvori snop (glavnih) zraka kongruentan sa onim koji je bio prigodom snimanja između snimljenog područja i objektiva. Ta se svrha postizava relativnom orijentacijom snimka S prema projekcijskom središtu $O = EP$ i eliminacijom eventualne distorzije optike kamere (sl. 1)



Sl. 1.

Važnost

Egzatna i kompletna unutarnja orijentacija ima obzirom na svoju svrhu prvenstvenu važnost kod postupaka kod kojih se na numerički, grafički ili optičkomehanički način rekonstruira kongruentan snop zraka sa onim prigodom snimanja. To su kod korišćenja pojedinačnih snimaka, kod redresiranja numerički i neki grafički postupci, zatim postupci na mehaničkim i optičkomehaničkim redreserima, te objektivnooptičkim redreserima sa općenito optički nekonjugiranim preslikavanjem, a kod korišćenja stereoparova, kod stereofotogrametrije numerički i grafički postupci, te postupci na automatskim stereoinstrumentima.



Sl. 2.

Kod najvažnijeg postupka redresiranja, a to je objektivno optički sa automatskom oštrinom, unutarnja se orijentacija zbog zadovoljavanja optičkih uvjeta uopće napušta (sl. 2), a i kod postupaka redresiranja kod kojih se zadržava unutarnja orijentacija zahtjevi su u pogledu točnosti manji nego kod precizne stereoizmjere i to iz dvostrukog razloga:

1) od redresiranja očekujemo već iz drugih razloga (deformacije papira, visinske razlike zemljišta, montaža fotoplana) manju točnost

2) utjecaj pogreške unutarnje orijentacije je na položaj, čija predstava kod redresiranja jedino dolazi u obiz, manji nego na konfiguraciju.

Kod poluautomatskih stereoinstrumenata (stereopantometar i sl.) važna je samo konstanta kamere, koju bi za konkretan stereopar trebalo određivati iz dimenzije istog smjera kao i mjerilo snimka, koje treba biti izjednačeno za oba snimka.

Principi određivanja

Elemente unutarnje orijentacije određuje sam proizvođač. Unutarnja orijentacija kamere osigurana je čvrstom konstrukcijom, a podaci su dani u sertifikatu. Ako je objektiv praktički oslobođen od distorzije, dovoljno je da proizvođač osigura ravninu snimka, definira položaj glavne točke u istoj ravnini i dade numeričku vrijednost konstante kamere c_k . Ako je objektiv opterećen distorzijom poželjno je da proizvođač izrazi unutarnju orijentaciju odnosom $r' = c_k \cdot F(\tau)$ (analitički ili grafički) (sl. 1). Pri tome je r' udaljenost točke na snimku od glavne točke snimka, τ objektivni kut t. j. kut između osi snimanja i (glavne) zrake za pojedinu točku, F karakteristična funkcija za dotičnu kameru, koja kod optike bez distorzije poprima oblik tangensa, c_k računaska veličina, faktor mjerila snimka koji povezuje veličine r' i τ ; kod optike bez distorzije i ispravnog fokusiranja on poprima vrijednost slikovne daljine (Bildweite), koja je u geodetskoj fotogrametriji, gdje se snimani predio nalazi u optičkoj neizmjernosti, jednaka žarišnoj daljini f .

Odredjivanje unutarnje orijentacije sadrži:

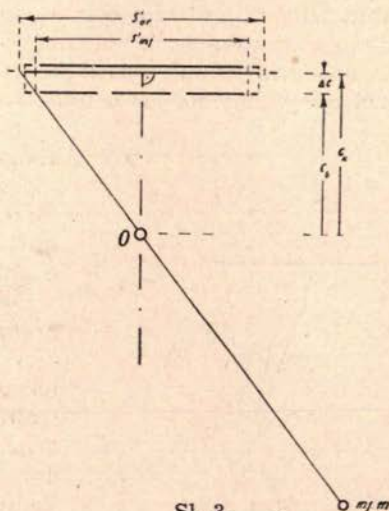
- 1) relativnu orijentaciju snimka prema projekcionom središtu
- 2) eliminaciju distorzije.

Eliminacija distorzije je problem koji kod instrumentalne fotogrametrije rješava sam proizvođač uskladjivanjem projektora prema kameri za snimanje, dok su numerički i grafički način za eliminaciju distorzije nepodesni. Proizvođač daje i podatke za relativnu orijentaciju projekcionog središta prema snimku u obliku fotografski registriranih rubnih marki, čime je kod dobro rektificirane kamere određena glavna točka snimka, i podataka za konstantu kamere.

Restitutor centrira redovito na osnovu rubnih marki snimak na podložnu ploču projektora i nanese udaljenost projekcionog središta od snimka. Relativna orijentacija projekcionog središta i snimka prema podložnoj ploči projektora, a time i relativna orijentacija projekcionog središta prema snimku, može se nanijeti na dva načina:

- 1) centriranjem snimka u za to predviđenoj ravnini (na podložnoj ploči projektora) i direktnim nanašanjem podatka konstante kamere korigirane za eventualni usuh, koja time poprima vrijednost c_b konstante snimka:

$$c_k + \Delta c = c_b \quad (\text{sl. 3})$$



Sl. 3.

2) Uspostavom danih kuteva što ih zatvara zraka kroz rubne marke sa središnjom zrakom kroz presjek spojnice nasuprotnih rubnih marki (sl. 4).

Način: 1) vrijedi bez daljnjeg za izrađeni negativ odnosno kopiranjem dobiveni pozitiv uz slijedeće pretpostavke:

1) da se unutarnja orijentacija kamere (njezine dimenzije) ne mjenja prigodom temperaturnih i ostalih promjena

2) da je fotosloj prigodom snimanja bio izravnat u ravnini slikovnog okvira

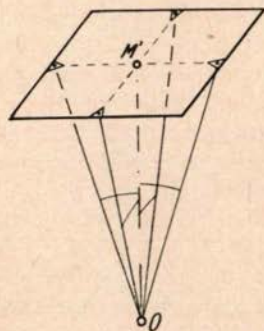
3) da je negativ odnosno kopiranjem dobiveni pozitiv nakon fotoizrade zadržao originalni format.

Prva dva uvjeta kvalitetna kamera redovito zadovoljava.

Treći uvjet je praktički ispunjen kada se snimanje vrši na fotoploče, kao što je to redovito slučaj u terestričkoj fotogrametriji. Ako se radi sa filmom onda negativ nakon fotoizrade pretrpi stanoviti usuh, te se nastoji proizvoditi odnosno koristiti takav fotomaterijal kod kojeg je taj usuh u oba ortogonalna smjera jednak. Obzirom na mali iznos tog usuha vrijedit će i nadalje izraz $r' = c \cdot F(\tau)$, pri čemu konstanta kamere c_k kao faktor mjerila snimka zahtjeva stanovitu korekturu uslijed promjene mjerila snimka nakon foto-grafske izrade (sl.), te dobivamo odnos $r' = c_b \cdot F(\tau)$.

Nekonstantnost kamere uslijed temperaturnih promjena ima isti karakter kao i pravilan usuh snimka, te je ta promjenljivost obuhvaćena određivanjem pravilnog usuha.

Ako idealni uslovi 1), 2), 3) nisu ispunjeni, onda svrha unutarnje orijentacije, t. j. uspostavljanje kongruencije između snopa zraka u prostoru rekonstruiranog snimljenog područja i snopa zraka između snimljenog područja i objektivna kamere, ne će biti postignuta centriranjem snimka u njegovoj ravnini i dovodjenjem snimka na udaljenost konstante kamere od projekcionog središta. Kako se kod kongruentnosti snopova zraka radi o relativnom kutnom položaju pojedinih zraka, a ne o linearnim veličinama, to će kako za slučaj da su pretpostavke 1) i 3) ispunjene tako i za slučaj odstupanja od tih pretpostavka tražena kongruentnost biti postignuta, ako se za snimak kod unutarnje orijentacije ostvare kutne konstante kamere, a to su kutovi što ih zatvaraju zraka kroz pojedine rubne marke sa zrakom kroz presjek spojnice nasuprotnih rubnih marki (središte snimka M') (sl.4). Za pretpostavku 2) vrijedi to djelimično, jer u tom slučaju nije sa sigurnošću poznato kako je ležao snimak za vrijeme snimanja. Te su kutne konstante kamere i za slučaj eventualne promjene dimenzija kamere uslijed temperaturnih razlika mnogo postojanije od linearne konstante. Ispravnost tog postupka je u velikoj mjeri neovisna o odstupanjima od navedenih idealnih uslova.



Sl. 4.

Sa tim kutnim konstantama nije učinjen bespredmetnim izraz sa linearnom konstantom $r' = c_k \cdot F(\tau)$. Na temelju kutnih konstanta restitutor na temelju 4 zrake kroz rubne marke i jedne centralne zrake uspostavlja na instrumentu relativnu orijentaciju snimka prema projekcionom središtu, dok sa izrazom $r' = c_k \cdot F(\tau)$ konstruktor daje cijelokupnu mjernu karakteristiku

preslikavanja kamere, čime su obuhvaćene sve zrake, t. j. u izrazu je sadržana kako relativna orijentacija snimka prema projekcionom središtu tako i postojeća distorzija.

Od odstupanja od idealnih uslova 1), 2), 3) veće poteškoće izaziva eventualni nepravilni usuh filma, a da i ne govorimo o neprilegnutosti neizravnatog filma koja se pogreška uopće ne da na prikladan način kompenzirati.

Kod nepravilnog usuha je bez daljnjeg neizbježiva deformacija rekonstruiranog područja. Usuh je redovito približno jednoličan u smjeru para paralelnih stranica snimka. Kod približno vertikalnih snimaka imat ćemo afinu deformaciju tlocrta — mjerilo u smjeru paralelnom s jednom koordinatnom osi snimka ne će biti jednako sa mjerilom u smjerom paralelnom s drugom koordinatnom osi.

Ako se radi o korišćenju pojedinačnog snimka, o dobivanju položajne predodžbe redresiranjem, onda je kod postupaka koji zadržavaju unutarnju orijentaciju najispravnije za udaljenost projekcionog središta od snimka uzeti opću aritmetisku sredinu od vrijednosti dobivenih iz obih ortogonalnih dimenzija snimka uzetih sa težinama proporcionalnim sa dimenzijama stranica. Kod objektivnogoptičkog redresiranja kod kojeg se ne zadržava ista unutarnja orijentacija deformacija se proicirane figure pri postojećem nadirnom otklonu snimka kompenzira prigodom vanjske orijentacije izvršene na temelju orijentacionih točaka — kod objektivnooptičkog redresara tipa SEG I, ZA i E₂, Wild ta se kompenzacija postizava pomakom snimka u njegovoj ravnini.

Kod korišćenja stereoparova, gdje se osim položajne predodžbe izrađuje i visinska predodžba, uzimanjem sredine stvaraju se za x—, y— i z—smjer rekonstruiranog područja tri ponešto različita mjerila, te ovakovo određivanje konstante snimka ne će biti uvijek najpovoljnije, već će katkada biti uputnije da damo prednost onoj stranici, koja je uglavnom paralelna sa bazom. Na taj način postignut ćemo jedinstveno mjerilo za dimenzije rekonstruiranog područja u smjeru baze i u smjeru osi snimanja, t. j. kod nadirnih aerosnimaka imat će jedinstveno mjerilo horizontale paralelne sa bazom i visine, a kod horizontalnih terestričkih snimaka imat će jedinstveno mjerilo horizontale paralelne i okomite na bazu t. j. tlocrt, a da pri ovakovom favoriziranju razlika mjerila obih ortogonalnih dimenzija paralelnih sa stranicama snimka ostane jednaka.

Mjerilo bi modela kod nadirnog stereopara za te slučajeve trebalo prema tome određivati u smjeru paralelnom sa x, a kako se općenito smjer dužine, koja stoji na raspolaganju za komparaciju ne podudara sa tim smjerom, to bi tu danu dužinu trebalo transformirati prema afinoj deformaciji tlocrta. Kod horizontalnog terestričkog stereopara obje tlocrtne dimenzije zadržavaju isto mjerilo, te nije potrebna transformacija. Kod stereoizmjerne nadirnih snimaka moguće je eventualno kasnije tokom procesa reprodukcije karte odnosno plana pogreške u mjerilu za obje ortogonalne dimenzije tlocrta izjednačiti po apsolutnoj vrijednosti (eventualno je moguće i kompenzirati afinu deformaciju tlocrta upotrebom materijala odgovarajućeg nepravilnog usuha), a da se pri tom više ne kviri mjerilo visina koje grafički ne dolazi do izražaja. Kod stereoizmjerne pak horizontalnih snimaka može se deformacija visina još prigodom restitucije uzeti u obzir i osujetiti procentualnom korekcijom visinske razlike mjerene točke od horizonta snimka.

Slučaj da će konstanta snimka biti uputnije određivati samo po x' —smjeru snimka imat ćemo u nadirnoj aerofotogrametriji, ako

1) pravilno raspoređeni snimci pokazuju jednaki nepravilni usuh većeg iznosa

2) teren pokazuje jače visinsko protezanje

3) ako je predviđena reprodukcija karte

Kod horizontalnih terestričkih snimaka bit će to slučaj kod primjene filma za koji je predviđena na pr. oprema TAL, ZA. Iako novija konstrukcija fototeodolita omogućuje nagibivu os snimka, a kao nosilac fotosloja upotrebljava se redovito staklena ploča, to će ipak horizontalni snimci i film zadržati stanovitu važnost naročito u vangeodetskoj primjeni, gdje i snimci na papiru nailaze na svoju primjenu.

Rad sa pločama

Ploče su praktički oslobođene usuha, pa će kod fotosloja koji je za vrijeme snimanja bio prilegnut na mjerni okvir konstanta snimka c_b biti jednaka konstanti kamere c_k . U tom će slučaju radialna udaljenost rubnih marki biti jednaka originalnim veličinama na mjernom okviru.

Rad sa filmom i papirom

Kod filma i papira moramo računati sa mogućnosti pravilnog i nepravilnog usuha. Pravilni usuh, kod kojeg obje koordinatne dimezije snimka pokazuju prema originalnom formatu jednako mjerilo, kompezira se promjenom udaljenosti projekcionog središta od ravnine snimka (sl. 3) i on ne izaziva

dalje nikakove deformacije. Ta bi promjena iznosila $\Delta c = \frac{S'_{mj} - S'_{or}}{S'_{or}} c_k$, gdje

je s'_{mj} mjerena a s'_{or} originalna dimenzija formata snimka. Time konstanta kamere c_k prelazi u konstantu snimka c_b : $c_k + \Delta c = c_b$. Numeričko

određivanje ove korekture bilo bi potrebno kod rada na stereokomparatoru kao i kod grafičke izmjere, dok se kod automatskih stereoinstrumenata veličina c određuje jednostavnim optičkim postupkom (sl. 3). Konstanta snimka c_b (projekciona daljina u projektoru) postavi se najprije na vrijednost konstante kamere c_k ; sa mjeracom se markom uvizira rubna marka na podložnoj ploči projektoru; na to se isključivo promjenom konstante snimka uvizira sa mjeracom markom odgovarajuća rubna marka na snimku; odstupanje očitavanja konstante snimka od vrijednosti konstante kamere jednaka je veličini Δc , koja je time već automatski nanijeta.

Kod nepravilnog usuha uzme se za promjenu udaljenosti projekcionog središta od ravnine snimka redovito aritmetška sredina dobivena za 4 rubne marke. U spomenutim iznimnim slučajevima uputno je konstantu snimka određivati prema koordinatnoj dimenziji snimka paralelnoj sa bazom t. j. prema x' , koja je osim toga kod terestričkog snimka i veća od druge koordinatne dimezije z' , pa ima od nje i veću težinu kod određivanja.

Da bi se za te slučajeve mjerilo modela kod nadirnog stereopara odnosilo na dimezije XZ t. j. na horizontalni smjer paralelan sa bazom i vertikalni smjer trebalo bi danu kompariranu dužinu transformirati prema afinoj deformaciji tlocrta u d_1 (sl. 5). Neka dužina d zatvara sa smjerom X kut a .

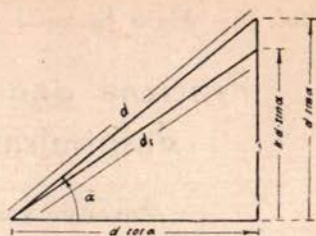
$$\frac{y'_{mj}}{y'_{or}} \cdot \frac{x'_{mj}}{x'_{or}} = k = M_{s_y'} : M_{s_x'}$$

$$d_t = \sqrt{d^2 \cos^2 \alpha + k^2 d^2 \sin^2 \alpha} =$$

$$= d \sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha + (k^2 - 1) \sin^2 \alpha}$$

$k^2 - 1$ je malena veličina, pa imamo:

$$d_t = d \left(1 + \frac{k^2 - 1}{2} \sin^2 \alpha \right)$$



Sl. 5.

Ordinatna korekcija bit će jednaka: $d \cdot \sin \alpha - k \cdot d \cdot \sin \alpha = d \cdot \sin \alpha \cdot (1 - k)$

Postupak kod poluautomatskih stereoinstrumenata

Kod poluautomatskih stereoinstrumenata (stereopantometar i sl.) sa stereoskopskom koincidencijom dobiva se direktno kartirani položaj, dok se visinske razlike izračunavaju (ili za dani stereopar nanese u obliku tabele) na osnovu mjerenih razlika totalnih paralaksa. Tim mjerenjima izbjegnuta je uopće rekonstrukcija kongruentnog snopa (glavnih) zraka, pa se određivanje unutarnje orijentacije reducira samo na određivanje konstante snimka c_b .

Kod tih instrumenata koriste se redresirani i na isto mjerilo svedeni pozitivni na papiru. Kod jednakog materijala i obrade smijemo obzirom na točnost redovito očekivati jednaku deformaciju u smjeru iste korištene stranice fotopapira, a općenito moramo računati i sa mogućnosti većeg nepravilnog usuha.

Određivanje visinskih razlika vrši se na temelju formule;

$$dh = \frac{h}{b} \cdot \frac{h}{c_b} dp'_x$$

Ako nepoznate veličine zamjenimo poznatim dobivamo:

$$dh = \frac{c_b}{b'} \cdot \frac{1}{M_s} dp'_x = \frac{c_b}{b'} \cdot \frac{d}{d'} dp'_x$$

gdje je d originalna poznata dužina (po mogućnosti horizontalna u srednjoj razini), a d' njena (nedeformirana) slika na snimku. Vidimo da se deformacija papira u smjeru baze automatski eliminira, budući je njezin utjecaj na brojnik (dp'_x) i nazivnik (b') jednak. Da bi se deformacija eliminirala i za ostale članove, potrebno bi bilo da se konstanta snimka (c_b) i mjerilo snimka (d') određuje po istom smjeru. Uzmimo da se konstanta snimka c_b određuje po deformaciji x' — dimenzije snimka i da deformirana slika d'_t komparirane dužine d zatvara sa tom dimenzijom kut α . Veličinu d'_t morali bi u svrhu kompenzacije sa naravnom veličinom d transformirati u d' (v. sl. 5):

$$d' = \sqrt{d_t'^2 \cos^2 \alpha + \frac{d_t'^2}{k^2} \sin^2 \alpha} = d_t' \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k^2} - 1 \right) \sin^2 \alpha \right] =$$

$$= d_t' \left(1 + \frac{1 - k^2}{2k^2} \sin^2 \alpha \right)$$

Naravski da je ovakovo obaziranje na kompenzaciju nepravilnog usuha filma odnosno papira potrebno samo onda, ako bi ovi izvori pogrešaka po svom utjecaju kvantitativno nadmašili zahtjevanu točnost.