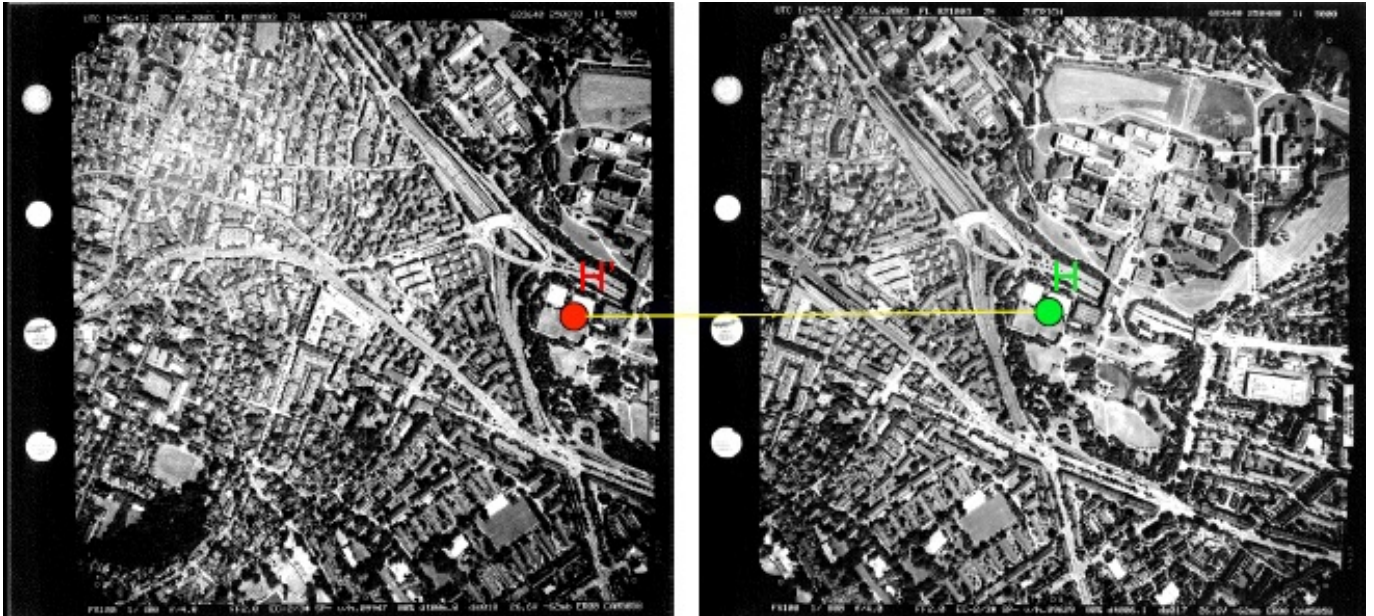


Cornel ARSENE

FOTOGRAMMETRIE



UTPRESS
Cluj-Napoca, 2024
ISBN 978-606-737-705-7

Cornel ARSENE

FOTOGRAMMETRIE



UTPRESS

Cluj-Napoca, 2024

ISBN 978-606-737-705-7



Editura UTPRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
www.utcluj.ro/editura

Recenzia: Prof.dr.ing. Ioel Samuel Vereş

Conf.dr.ing. Sanda Mărioara Naş

Pregătire format electronic on-line: Gabriela Groza

Copyright © 2024 Editura UTPRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

ISBN 978-606-737-705-7

PREFAȚĂ

Progresele înregistrate în perioada actuală în multe din domeniile de activitate au avut implicații și în domeniul măsurătorilor terestre, prin îmbunătățirea tehnicilor și instrumentelor existente și apariția de tehnologii tot mai avansate de culegere a datelor și prelucrare a informațiilor.

Fotogrammetria, ca ramură a științelor măsurătorilor terestre, a înregistrat progrese deosebite atât sub aspect tehnic cât și sub aspect științific, ceea ce a condus la utilizarea acesteia pe scara largă în obținerea documentelor cartografice cu un spectru tot mai larg de utilizare, dar și la utilizarea principiilor fotogrammetriei în aplicații din domenii tot mai diverse.

Pentru a înțelege modul de funcționare a instrumentelor moderne și cel de prelucrare a informațiilor preluate cu acestea, este necesar ca specialiștii din domeniul măsurătorilor terestre să cunoască noțiunile teoretice ale disciplinei Fotogrammetrie.

Conținutul lucrării este axat pe prezentarea bazelor teoretice privind preluarea informațiilor prin intermediul fotogramelor și modul de formare și prelucrare a imaginilor. Sunt prezentate elementele geometrice specifice fotogramei ca proiecție centrală, elementele de orientare ale acesteia, modul de determinare a scării, deformațiile care pot afecta calitatea fotogramei și ecuațiile matematice specifice, precum și instrumente folosite la preluarea și prelucrare fotogramelor.

Totodată lucrarea prezintă informații privind proiectarea lucrărilor de preluare a fotogramelor, modul și condițiile în care acestea sunt realizate practic și metodele de prelucrare a imaginilor și legitățile care trebuiesc respectate în procesul de prelucrare.

În ultimul capitol sunt definite noțiuni privind fotointerpretarea fotogramelor, factorii de care depinde rezultatul procesului de fotointerpretare și criteriile folosite în realizarea fotointerpretării.

La final mulțumim anticipat celor care, prin observații critice obiective, pot contribui la îmbunătățirea, într-o altă ediție, conținutului acestei cărți.

Autorul

Cuprins

Introducere. Obiectul fotogrammetriei	9
Capitolul 1	11
Clasificarea aparatelor fotogrammetrice. Principii care stau la baza construcției aparatelor fotogrammetrice	11
Obiectivul aparatului foto	14
Elementele obiectivului.....	14
Formarea imaginii printr-un obiectiv.....	16
Caracteristicile unui obiectiv	16
Aberatiile obiectivelor fotografice	18
Obiective fotogrammetrice	23
Capitolul 2	27
Elemente de sensitometrie fotografică.....	27
Proprietățile emulsiilor fotosensibile.....	29
Suportul emulsiilor	32
Developarea emulsiilor fotosensibile	32
Capitolul 3	33
Bazele geometrice ale Fotogrammetriei	33
Fotograma – proiecție centrală.....	33
Elementele geometrice specifice proiecției centrale	34
Perspectivarea elementelor reale pe planul de proiecție	36
Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie.....	38
Elementele de orientare ale fotogramelor	40
Elementele de orientare interioară	40
Elementele de orientare exterioară.....	41
Ecuația de bază a fotogrammetriei	42
Scara fotogramei.....	49
Deformații pe fotogramă.....	50
Capitolul 4	57
Stereofotogrammetria	57
Fenomenul vederii.....	57
Mecanismul vederii	58
Vederea stereoscopică artificială.....	63
Observarea stereoscopică.....	65

Măsurarea stereoscopică	68
Ecuția de bază a stereofotogrammetriei.....	71
Condițiile de aplicare a ecuației de bază a stereofotogrammetriei.....	74
Parametrii ecuației de bază a stereofotogrammetriei.....	75
Cazuri particulare în fotogrammetria aeriană	76
Cazuri particulare în fotogrammetria terestră	78
Capitolul 5	85
Aerofotografierea	85
Avioane de aerofotografiere	85
Camere aerofotogrammetrice	86
Verificarea și etalonarea camerelor aerofotogrammetrice.....	92
Proiectarea aerofotografierii.....	92
Reperele fotogrammetrice	93
Pregătirea și executarea lucrărilor de preluare a fotografiilor aeriene.....	94
Prelucrarea de laborator a rezultatelor aerofotografierii.....	95
Verificarea rezultatelor aerofotografierii.....	96
Aprecierea generală a calității rezultatelor aerofotografierii.....	97
Capitolul 6	99
Prelucrarea fotogramelor.....	99
Retrointersecția dublă în spațiu.....	99
Redresarea fotogramelor	105
Metode de redresare.....	107
Întocmirea fotoplanului și fotoschemei	111
Capitolul 7	115
Fotogrammetria terestră.....	115
Lucrări care se realizează la preluările efectuate prin stereofotogrammetrie terestră	117
Amplasarea punctelor de stație și a bazelor de fotografiere.....	117
Reperajul fotogrammetric.....	119
Preluarea fotogramelor terestre.....	121
Prelucrarea fotogramelor terestre.....	122
Aplicarea fotogrammetriei terestre în diverse domenii tehnice.....	124
Capitolul 8	127
Fotointerpretarea.....	127

Factorii de care depinde fotointerpretarea	128
Criterii de fotointerpretare	129
Bibliografie selectivă.....	133

Introducere. Obiectul fotogrammetriei

Fotogrammetria este o ramură a științelor măsurătorilor terestre definită ca știința și tehnologia de obținere a unor informații despre obiecte și mediul înconjurător prin înregistrarea, măsurarea și interpretarea unor imagini fotografice metrice numite fotograme.

Fotogrammetria (<fr.) = foto + gramma(scriere) + metron (măsură)

Aspectul calitativ al obiectelor și mediului înconjurător este studiat de fotointerpretare și teledetecție.

Fotogrammetria, fotointerpretarea și teledetecția fac parte din grupul geostiințelor.

Evoluția fotogrammetriei a fost influențată de progresele înregistrate în: fizică, chimie, matematică, geodezie, topografie, cartografie, mecanică fină, aeronautică, electronică și tehnica de calcul.

Etapile parcurse sunt:

I. fotogrammetria planimetrică (1850-1900) - începe odată cu descoperirea fotografiei și primele ridicări fotogrammetrice terestre (A. Laussedat 1850); primele fotograme aeriene realizate în scopuri cartografice sunt făcute în 1913;

II. fotogrammetria analogică (1901-1960) - odată cu apariția stereoscopiei ca principiu de bază în efectuarea măsurătorilor (Carl Pulfrich - Germania) și perfecționarea avionului cu motor;

III. fotogrammetria analitică (1961-1980) - este marcată de perfecționarea calculatorului electronic și a aparaturii de specialitate;

IV. fotogrammetria digitală (1980-actual)- apariția și perfecționarea sistemelor opto-electrice de preluare a imaginilor digitale și perfecționarea tehnicii de calcul și a softului necesar.

În cadrul fotogrammetriei, în funcție de anumite criterii, se disting mai multe ramuri, și anume:

- după domeniul în care sunt utilizate rezultatele observațiilor distingem:
 - fotogrammetria topografică - are ca scop realizarea de hărți și planuri;
 - fotogrammetria netopografică - cu aplicații în arhitectură, arheologie, comportarea construcțiilor sau utilajelor în exploatare, construcții de mașini, medicină, fizică, artă, etc.
- după modul de preluare a fotogramelor:
 - fotogrammetria terestră (geofotogrammetria) - axa de fotografiere este orizontală, aparatele fiind amplasate la sol, în stații fixe de coordonate x, y, z cunoscute; preluarea poate fi făcută cu fototeodolitul sau cu camere stereometrice;

- fotogrammetria aeriană (aerofotogrammetria) - axa de fotografiere este verticală sau înclinată, fotogramele fiind preluate cu ajutorul camerelor fotogrammetrice amplasate într-un vehicul aerian.

3. după modul de exploatare a fotogramelor:

- fotogrammetria planimetrică - fotogramele sunt exploatare individual fiind determinate dimensiunile și poziția planimetrică (coordonatele x și y , respectiv x și z) a obiectelor; se obține fotoplanul și fotoschema;

- fotogrammetria stereoscopică (stereofotogrammetria) - se exploatează cupluri de fotograme succesive cu acoperire longitudinală de aprox. 66% (stereograme), fiind obținute dimensiunile și poziția în sistem tridimensional (coordonatele x , y , z) ale obiectelor; produsele rezultate sunt: planul restituit, ortofotoplanul, modelul digital al terenului sau obiectului studiat.

4. după modul de prezentare al fotogramelor și al tehnologiilor aplicate pentru exploatarea acestora:

- fotogrammetria analogică - folosind aparatură și tehnici de exploatare analogice, sunt prelucrate imagini înregistrate pe un suport material (sticlă, hârtie, film), sub format analogic;

- fotogrammetria digitală - sunt exploatare imagini digitale preluate direct pe suport electromagnetic cu ajutorul sistemelor opto-electronice sau obținute prin scanarea unor fotograme analogice; prelucrarea se face digital cu stații fotogrammetrice digitale.

Capitolul 1

Clasificarea aparatelor fotogrammetrice. Principii care stau la baza construcției aparatelor fotogrammetrice

Preluarea imaginilor fotografice poate fi făcută cu:

- aparate obișnuite;
- aparate speciale (pentru microfotografieri în diverse scopuri);
- aparate fotogrammetrice.

Pentru ca o imagine fotografică să poată fi folosită la măsurători fotogrammetrice este necesar ca ea să fie o perspectivă centrală (fiecărui punct din spațiul tridimensional să îi corespundă un punct în planul de proiecție, punct obținut la intersecția razei de proiecție cu planul de proiecție), iar poziția ei în momentul fotografierii să fie cunoscută.

Un aparat fotografic a cărui organizare permite definirea cu precizie a poziției imaginii fotografice în raport cu obiectul fotografiat în momentul înregistrării reprezintă o cameră metrică de fotografiat sau camera fotogrammetrică.

Elementele esențiale ale unei camere fotogrammetrice sunt: obiectivul (centrul de proiecție) și cadrul camerei (planul focal) (Fig.1).

Camera fotogrammetrică este construită în așa fel încât să formeze un bloc rigid, nedeformabil, poziția planului focal fiind bine definită față de obiectiv în aceste condiții.

Cadrul camerei metrică este prevăzut cu patru indici de referință (R1-R4) al căror rol este de a determina poziția punctului în care axa optică întâlnește planul clișeului în momentul fotografierii. Prin construcție este asigurată perpendicularitatea axei optice pe planul materializat în cadrul camerei. Asta face ca imaginea fotografică să reprezinte o corespondență perspectivă, punctul în care axa optică întâlnește imaginea având semnificația punctului principal H' . O astfel de imagine diferă de imaginea fotografică obișnuită.

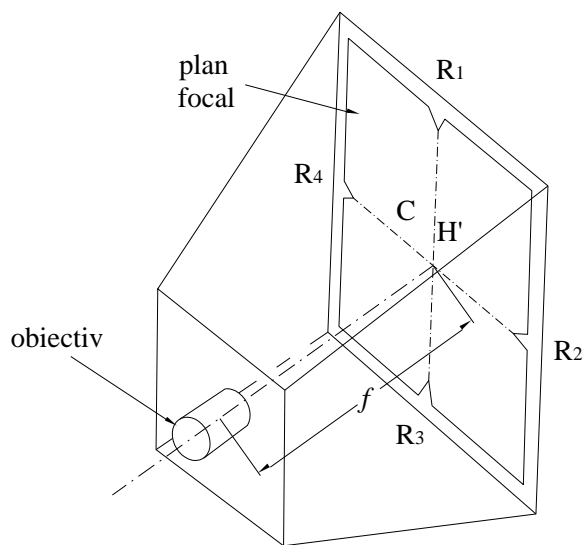


Fig. 1.1 Elementele esențiale ale unei camere fotogrammetrice

Aparatele fotogrammetrice de preluare a fotogramelor pot fi:

a. camere terestre (Fig. 1.2);

b. camere fotoaeriene (Fig. 1.3).

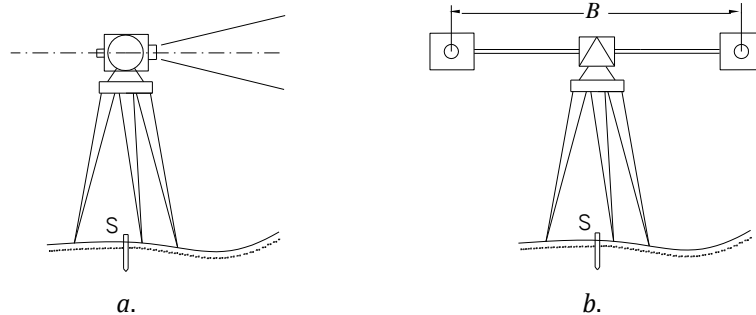


Fig. 1.2 Camere fotogrammetrice terestre

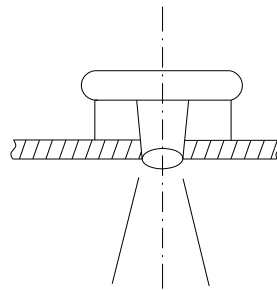


Fig. 1.3 Cameră fotogrammetrică aeriană

a. Camerele fotogrammetrice terestre sunt:

a.1 camerele fotogrammetrice individuale (Fig. 1.2. a) compuse din camera fotogrammetrică propriu-zisă și sistemul de orientare al acesteia față de direcția bazei:

a.1.1 camerele fotogrammetrice pentru lucrări topografice, prevăzute cu diafragmă cu deschidere fixă și profunzimea cuprinsă între 30 m și ∞ (Photeo-1318 Carl Zeiss – Fig. 1.4, Wild P30);

a.1.2 camere fotogrammetrice universale a căror diafragmă este cu deschidere variabilă iar profunzimea este cuprinsă între 2÷4 m și ∞ (UMK-10/1318 Carl Zeiss – Fig. 1.5, TMK-6, TMK-12 Carl Zeiss, Wild P31, Wild P32 – Fig. 1.6);

a.2 camerele stereofotogrammetrice (Fig. 1.2. b) formate din două camere fotogrammetrice identice montate pe o bază fixă, cu acționare centralizată și simultană:

a.2.1 cu bază mică (0,40m) - pentru fotografiere în intervalul 2,5÷10m (SMK 5,5/0808/40, Wild C-40, Nikon TS-40, Sokisha SKB-40);

a.2.2 cu bază medie (1,20 m) - pentru fotografiere în intervalul 5÷30m (SMK 5,5/0808/120 – Fig. 7, Wild C-120, Nikon TS-120, SKB-120);

a.2.3 cu bază mare (2-3m) - pentru fotografiere în intervalul 5m÷ ∞ (Veroplast BMG-3, IMK-10/1318).



Fig. 1.4 Photeo-1318 Carl Zeiss (sursa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>)



Fig. 1.5 UMK-10/1318 Carl Zeiss



Fig. 1.6 Wild P32 (sursa: <http://wild-heerbrugg.com/photogrammetry.htm>)



Fig. 1.7 SMK 120 Carl Zeiss

(sursa: http://www.marcocavina.com/articoli_fotografici/Hypergon_Topogon_Biogon_Hologon/)

b. Camerele fotoaeriene (Fig. 1.3) sunt clasificate după mai multe criterii:

b.1. după formatul fotogramelor:

b.1.1 de format mic $<18 \times 18$ cm;

b.1.2 de format normal: 18×18 cm, 23×23 cm;

b.1.3 de format mare: 30×30 cm, 23×46 cm;

b.2 după unghiul de câmp:

b.2.1 cu unghi de câmp mic $2\beta < 50^\circ$

b.2.2 cu unghi de câmp normal $50^\circ < 2\beta < 70^\circ$

b.2.3 cu unghi de câmp de mare deschidere $70^\circ < 2\beta < 100^\circ$

b.2.4 cu unghi de câmp de foarte mare deschidere $2\beta > 100^\circ$

b.3 după felul obiectivului:

b.3.1 cu obiectiv fix;

- b.3.2 cu obiectiv intersanjabil;
- b.4 după tipul înregistrării:
 - b.4.1 camere obșnuite (înregistrare cadru cu cadru);
 - b.4.2 camere bandă (imagine continua luată printr-o fantă a camerei);
 - b.4.3 camere panoramice;
- b.5 după scopul fotografierii:
 - b.5.1 camere pentru scopuri cartografice;
 - b.5.2 camera pentru recunoaștere;
- b.6 după domeniul spectral în care se execută fotografierea:
 - b.6.1 camere monobandă (cu înregistrare în domeniile panocromatice, ortocromatice, infraroșu apropiat);
 - b.6.2 camere multibandă (multispectrale) - cu înregistrare simultană în 4-12 benzi spectrale din domeniul vizibil și infraroșu apropiat;
- b.7. după modul de înregistrare a imaginilor:
 - b.7.1 camere clasice (convenționale) - înregistrează fotograma sub formă analogică, pe suport material;
 - b.7.2 camera digitale - fotograma este înregistrată sub formă digital, pe suport electromagnetic.

Obiectivul aparatului foto

Elementele obiectivului.

Într-un mediu omogen o rază de lumină se propagă rectiliniu și uniform, iar la interfața dintre două medii diferite raza de lumină se poate reflecta sau refracta.

Proprietățile imaginii fotografice decurg din procesul formării sale și depind de un mare număr de factori și anume:

- obiectul fotografiat;
- aparatul de fotografiat și condițiile locului de fotografiere;
- emulsia fotografică și suportul său (în cazul fotogrammetriei analogice).

Obiectivul aparatului de fotografiat este un sistem optic centrat format dintr-un ansamblul de dioptrii sferice, care au toate centrele aliniat pe axa optică a sistemului.

Obiectivul ideal trebuie să îndeplinească condițiile:

- un fascicul punctiform trebuie să rămână tot punctiform după ce străbate obiectivul;
- un plan perpendicular pe axa principală a obiectivului se înregistrează în planul imagine tot printr-un plan perpendicular pe axa principală;
- imaginea unui obiect dispus perpendicular pe axa principală a obiectivului va fi o imagine asemenea cu obiectul.

Un sistem centrat nu este riguros stigmatic, adică nu transformă riguros un fascicul conic de raze în alt fascicul conic egal numai în cazuri cu totul particulare.

Elementele obiectivului.

La sistemele optice centrate se disting (Fig. 1.8):

- a. axa optică principală - axa optică ce trece prin centrele dioptrilor sferice;
- b. focarul principal obiect F - raza emergentă paralelă la axă este ieșită dintr-un punct fix al axei situat în spațiul obiect și care este focarul principal obiect;
- c. focarul principal imagine F' - raza incidentă paralelă la axă trece, după ce traversează sistemul, printr-un punct fix situat pe axă în spațiul imagine și care este focarul principal imagine;
- d. planele principale π și π' . Un plan principal este planul pe care se întâlnesc razele incidente, paralele cu axa, cu razele refractate corespondente. Sistemul centrat are două plane principale distincte: planul principal obiect π și planul principal imagine π' . Planele π și π' sunt fixe și sunt perpendiculare pe axa principală. Sistemul centrat este complet determinat prin focarele principale F și F' și planele principale π și π' . Cele patru elemente reprezintă punctele cardinale ale sistemului. Din intersecția planelor principale cu axa optică principală rezultă punctele principale P și P' ;
- e. planele focale: planul focal anterior F_0 și planul focal posterior F_0' ;
- f. distanța focală obiect f - distanța măsurată pe axa optică principală între punctul F și punctul P ;
- g. distanța focală imagine f' - distanța măsurată pe axa optică principală între punctul F' și punctul P' ; deci $f = -f'$
- h. punctele nodale: punctul nodal obiect N și punctul nodal imagine N' ; punctele nodale sunt puncte ale axei principale și sunt fixe și conjugate (adică unul este imaginea celuilalt), având mărimea unghiulară egală cu +1. Unei raze incidente ce trece prin punctul nodal obiect îi corespunde o rază emergentă care trece prin punctul nodal imagine, cele două raze fiind paralele. Când mediile extreme sunt identice, punctele nodale coincid cu punctele principale.

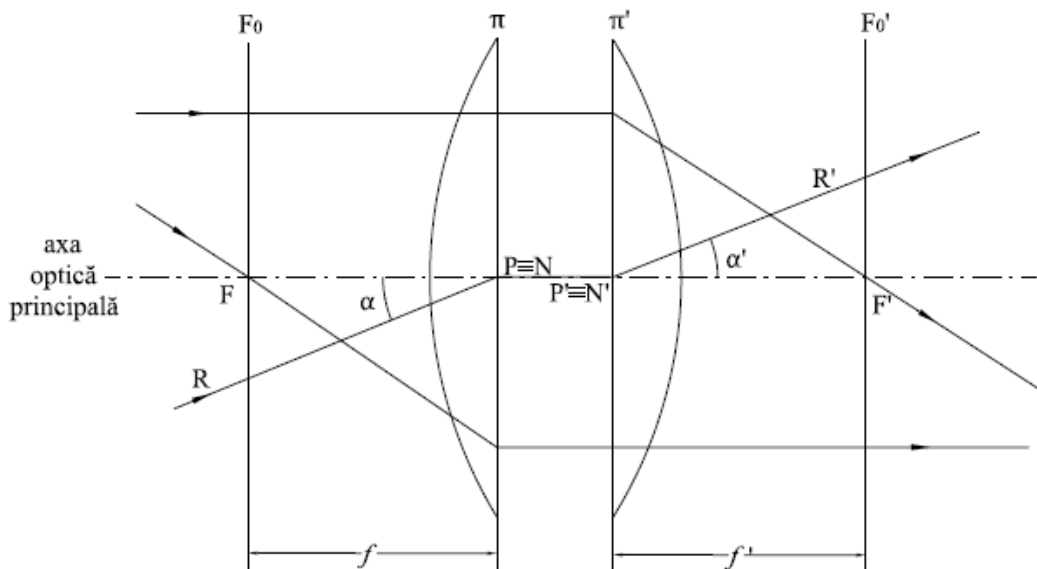


Fig. 1.8 Elementele obiectivului

Formarea imaginii printr-un obiectiv

Considerăm cel mai simplu sistem optic centrat, o lentilă convergentă (Fig. 1.9).

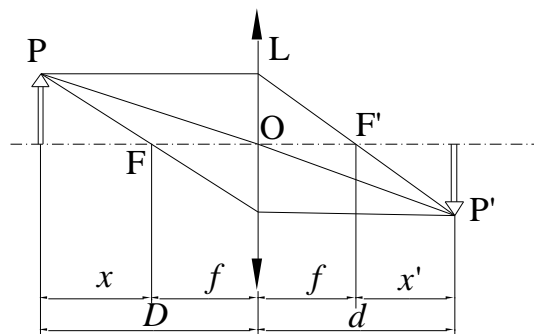


Fig. 1.9 Formarea imaginii printr-un obiectiv

Imaginea unui punct se formează la intersecția a trei raze principale care pornesc de la obiect:

- raza paralelă cu axa optică și care în spațiul imaginii va deveni raza focală;
- raza focală ce trece prin focarul obiect și care în spațiul imagine va deveni rază paralelă;
- raza principală ce trece prin punctul nodal obiect, în spațiul imagine va ieși din punctul nodal imagine.

Distanța de la un punct al obiectului la punctul nodal obiect o notăm cu D , iar distanța de la punctul nodal imagine la un punct imagine o notăm cu d .

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad \text{- ecuația lentilelor} \quad (1.1)$$

Dacă notăm: $D = x+f$ și $d = x'+f$, înlocuind în ecuația lentilelor obținem varianta *Newton* a acesteia:

$$x \cdot x' = f \quad (1.2)$$

Caracteristicile unui obiectiv

1. distanța focală f = distanța de la punctul nodal imagine (punctul principal de emergență) la focarul imagine F' . Valoarea distanței focale trebuie cunoscută cu precizie întrucât reprezintă unul din elementele de orientare interioară a fotogramei.

2. deschiderea relativă și luminozitatea obiectivului; deschiderea relativă determină luminozitate în plan focal și este dată de relația:

$$\frac{1}{n} = \frac{d}{f} = \frac{1}{f} \quad (1.3)$$

unde:

d – diametrul deschiderii obiectivului corespunzător deschiderii maxime a diafragmei;

pe montura obiectivului se înscrie valoarea numitorului (adică raportul f/d); luminozitatea imaginii este proporțională cu pătratul deschiderii relative - $(d/f)^2$

3. repartizarea luminii în planul focal (Fig. 1.10) se face după legea lui Lambert:

$$\Phi' = \Phi \cdot \cos^4 \alpha \quad (1.4)$$

unde:

Φ' - iluminarea într-un punct oarecare al imaginii;

Φ - iluminarea în centrul imaginii;

α - unghiul sub care se formează imaginea punctului.

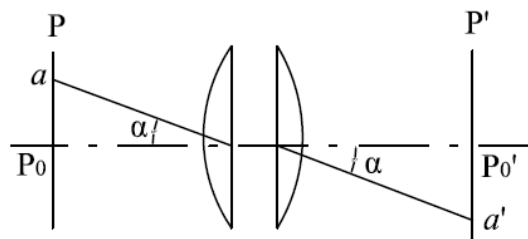


Fig. 1.10 Repartizarea luminii în planul focal

4. claritatea - raportul dintre iluminarea imaginii și iluminarea obiectului respectiv.

5. profunzimea de focar - P_f este reprezentată de distanța dintre pozițiile extreme ale geamului mat, pentru care imaginea unui obiect fix din spațiu, continuă să rămână clară (Fig. 1.11).

$$P_f = 0,1 \cdot \frac{2 \cdot f}{d} \quad (1.5)$$

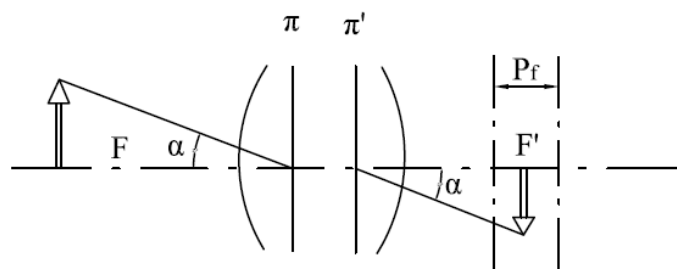


Fig. 1.11 Profunzimea de focar

6. profunzimea de câmp - P_c este reprezentată de distanța dintre pozițiile extreme între care se poate deplasa un obiect, imaginea sa continuând să rămână clară în anumite limite pe geamul mat fix. Profunzimea de câmp este invers proporțională cu deschiderea relativă a obiectivului (Fig.1.12).

$$P_c = 2 \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d} \quad (1.6)$$

7. distanța hiperfocală este distanța de la obiectiv la obiectul cel mai apropiat a cărui imagine este încă clară pe geamul mat.

8. câmpul obiectivului reprezentat de unghiul corespunzător părții utilizabile din cercul dat de obiectiv pe geamul mat, în interiorul căruia se obțin imagini clare.

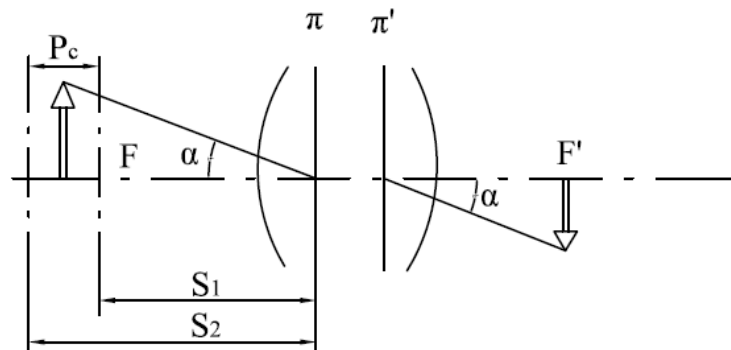


Fig. 1.12 Profunzimea de câmp

9. puterea de rezolvare a obiectivului - R = capacitatea de a se reda distinct cele mai mici detalii ale unui obiect. Obținerea unei imagini de rezoluție ridicată este în funcție de puterea de rezolvare a obiectivului, R și de puterea de rezolvare a emulsiei fotografice, N .

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R} + \frac{1}{N} \quad (1.7)$$

$1/R_0$ – puterea de rezolvare a sistemului obiectiv-emulsie;

10. funcția de transfer a modulației - FTM este reprezentată de raportul dintre contrastul în planul imaginii, k' și contrastul din spațiul obiect, k :

$$c = \frac{k'}{k} \approx 1 \quad (1.8)$$

Cu ajutorul funcției de transfer a modulației se pot analiza diferitele pierderi de informații în procesul de fotografiere precum și procesul de exploatare a fotografeii la hartă.

De regulă $k' < k$, iar $c \cong 0,9$; cu cât valoarea lui c se apropie mai mult de 1, cu atât informația și valoarea informației este mai bună; dacă $c < 0,7$, calitatea imaginii este slabă pentru fotogrammetrie.

Aberatiile obiectivelor fotografice

Imaginea formată trebuie să redea fidel obiectul real. Pentru aceasta este necesar ca fasciculul de raze să se găsească în apropierea axei principale și să îndeplinească condițiile:

- imaginea unui punct din spațiul real trebuie să fie tot sub formă de punct în spațiul imagine;

- imaginea unui obiect situat într-un plan perpendicular pe axa optică a sistemului trebuie să se formeze tot într-un plan perpendicular pe axa optică în spațiul imagine;

- poziția reciprocă a punctelor în spațiu imagine trebuie să fie aceeași cu cea a punctelor corespunzătoare din spațiul real.

Condițiile enumerate mai sus nu sunt îndeplinite în proporție de 100%, astfel că imaginile obiectelor formate prin intermediul unui obiectiv sunt afectate de anumite defecte, numite aberații.

Perfecționarea obiectivelor a redus mărimea aberațiilor dar nu a înlăturat-o în totalitate, întrucât înlăturarea unora duce la mărirea altora. Din aceasta cauză, în funcție de scopul pentru care se construiește un obiectiv, se urmărește eliminarea aberațiilor care afectează cel mai mult imaginea, fiind neglijate cele a căror prezență poate fi tolerată.

După modul de manifestare al aberațiilor asupra calității imaginii acestea se împart în:

- a. aberații geometrice;
- b. aberații cromatice.

Aberațiile geometrice

a.1. Aberația de sfericitate este datorată formei sferice a lentilelor care formează obiectivul, acestea având grosimea diferită în zona centrală și în cea marginală (Fig. 1.13).

Din această cauză razele ce vin de la un obiect din spațiul real nu se întâlnesc într-un același punct de pe axa optică principală și anume focarul principal imagine F' , razele marginale întâlnindu-se într-un punct mai apropiat obiectivului decât F' .

Asta are ca rezultat formarea unei pete luminoase în planul focal imagine, a cărei luminozitate descrește de la centru spre margini. Pata luminoasă poartă numele de comă și are forma unui disc, atunci când obiectul se află în apropierea axei optice, sau forma unei comete, atunci când obiectul este situat mult în afara axei optice.

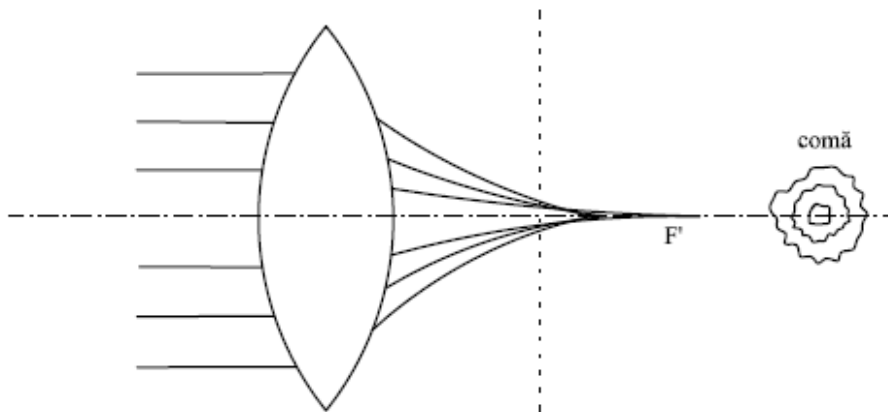


Fig. 1.13 Aberația de sfericitate

Aberația de sfericitate se manifestă prin reducerea calității imaginii; mărimea aberației de sfericitate depinde de curbura suprafețelor lentilelor și de indicele de refracție al acestora.

Aberația de sfericitate nu se poate elimina în totalitate, dar se poate diminua fie prin diafragmarea obiectivului lăsând să treacă numai razele apropiate axei optice, fie prin combinarea lentilelor convexe cu cele concave.

Obiectivi corectati se numesc obiectivi aplanati.

a.2. Astigmatismul

Dacă aberația de sfericitate este corectată total, pentru toate punctele situate pe axul optic razele care pleacă dintr-un punct converg într-un punct imagine, proprietate numită stigmatism.

Când punctul nu se afla pe ax ci într-un plan frontal, imaginea punctului obiect nu este singulară și punctiformă ci este sub formă de două segmente scurte, perpendiculare între ele și perpendiculare pe axul optic (Fig. 1.14). Cele două segmente se numesc linii focale, imaginea punctelor formându-se pe un plan care se trece undeva între cele două focale unde vom avea o imagine de difuzie minimă (pseudoimagine).

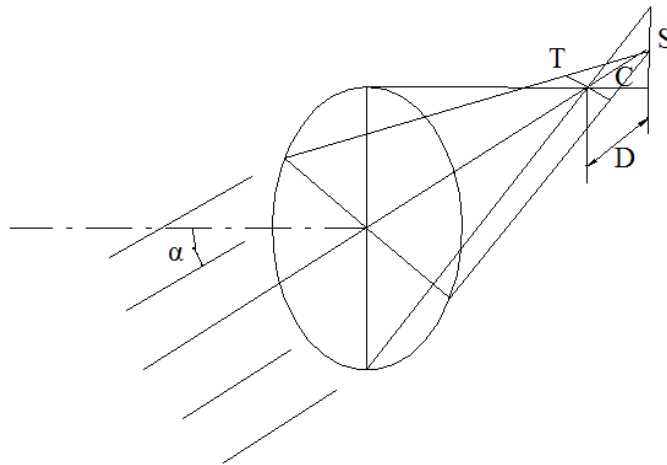


Fig. 1.14 Astigmatismul

- T – imaginea focală tangențială;
- S – imaginea focală sagitală;
- C – imaginea de difuzie minimă;
- D – distanța de astigmatism.

Cu cât mai înguste și mai puțin înclinate sunt fasciculele față de axa optică a sistemului, cu atât mai scurte și mai apropiate între ele sunt cele două linii focale care, la limită, se pot contopi într-un singur punct.

Pentru diminuarea efectului aberației de astigmatism se stabilesc valorile corespunzătoare pentru razele de curbură ale lentilelor și distanța dintre suprafețele acestora.

Obiectivii corecți de această aberație se numesc anastigmati.

a.3. Curbura de câmp

Diafragmarea obiectivului duce la apropierea planelor ce conțin cele două focale, care se pot aproximativ reuni într-o suprafață. S-a corectat deci astigmatismul, dar imaginea nu va fi verticală, defect ce se numește curbura câmpului (Fig. 1.15).

Corectarea acestei aberații se realizează prin planeitatea imaginii efectuată odată cu astigmatismul; în acest caz vom avea o planeitate anastigmată a câmpului.

Curbura de câmp afectează și claritatea și exactitatea imaginii.

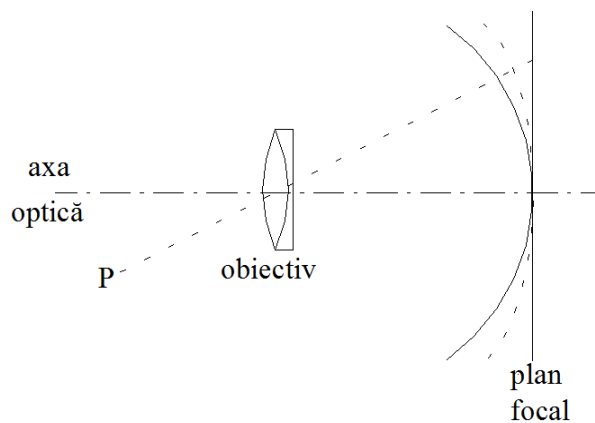


Fig. 1.15 Curbura de câmp

a.4. Distorsia

Conform legilor opticii, unei raze incidente de înclinare α care trece prin punctul nodal obiect N , îi corespunde o raza emergenta ce trece prin punctul nodal imagine N' și a cărei înclinare este tot α .

Practic însă nu se întâmplă așa.

Razele de lumină incidente care formează unghiuri mari cu axa optică se refractă sub unghiuri deformate, mărirea produsă în câmpul imagine este inegală, ceea ce conduce la o imagine deformată. Deformarea produsă poartă numele de distorsie și se datorează faptului că mărirea produsă în câmpul imagine nu este constantă pe toată întinderea planului conjugat imagine.

Daca celelalte aberații care produc difuzie imaginii se pot corecta prin diafragmare, distorsia se produce din cauza diafragmării și alterează poziția imaginilor (Fig. 1.16).

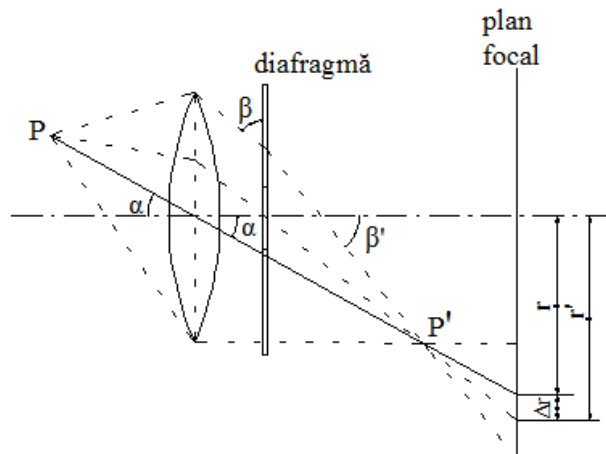


Fig. 1.16 Distorsia

Atunci când obiectul este o dreaptă care trece prin axă, imaginea lui va fi tot o dreaptă. Dacă dreapta nu trece prin axă imaginea ei este curbă, cu atât mai mult cu cât este mai îndepărtată de axă.

Poziția diafragmei față de obiectiv face ca distorsia să producă în mod diferit curbura imaginilor. Dacă diafragma este amplasată în fața obiectivului imaginea va fi deformată sub forma unui butoiș (Fig. 1.17). Când diafragma este amplasată între obiectiv și planul imaginii liniile vor fi deformate sub formă de seceră (Fig. 1.18).

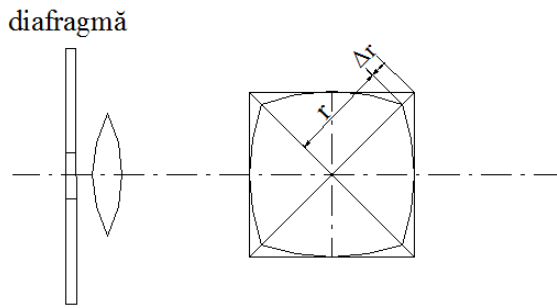


Fig. 1.17 Diafragma în fața obiectivului

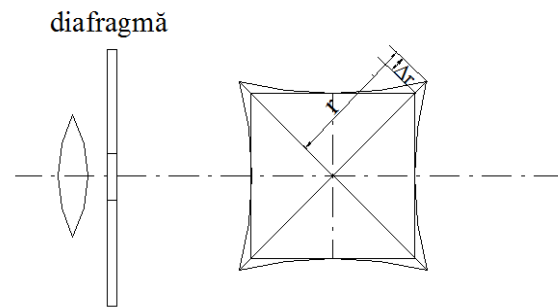


Fig. 1.18 Diafragma între obiectiv și planul imaginii

Dacă diafragma se plasează în planul de simetrie al obiectivului sau în imediata sa vecinătate, distorsia este eliminată.

Obiectivele fotografice a căror distorsie a fost corectată se numesc obiectivi ortoscopici sau rectiliniari.

Obiectivele care prezintă descentrări ale lentilelor din construcție au două componente ale distorsiei: radială și tangențială. Distorsia tangențială este mult mai mică decât distorsia radială. Distorsia radială este dată de relația:

$$\Delta r' = r' - r = r' - f' \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1.9)$$

- f' distanța focală imagine;
- α unghiul de incidență.

Distorsia reprezintă o aberație geometrică de poziție și este un factor generator de erori în fotogrammetrie, motiv pentru care se vor folosi ca obiectivi fotogrammetrici doar acei obiectivi care au valoarea distorsiei minimă.

Aberația cromatică

Până acum am admis că o rază incidentă dă naștere unei singure raze refractate.

Acest lucru este valabil numai pentru raza de lumină monocromatică nu și pentru lumina obișnuită. Părțile mai subțiri ale lentilelor se comportă ca niște prisme de difracție, descompunând lumina în radiațiile ce o compun. Un fascicol de lumină albă va fi, după refracție, o infinitate de imagini, câte una pentru fiecare din radiațiile componente ale fascicolului (Fig. 1.19).

Mărimea aberației cromatice este în funcție de indicele de refracție al sticlei din care este realizată lentila și de modul cum cad razele față de obiectiv, fiind mai accentuată atunci când razele incidente cad oblic pe obiectiv.

Pentru a elimina aberația cromatică diafragma se dimensionează astfel încât la deschiderea sa maximă să nu descopere zonele subțiri ale lentilelor.

Aberația cromatică se poate corecta în întregime prin cuplarea unei lentile divergente cu una convergentă, cu proprietăți de dispersie de sens opus.

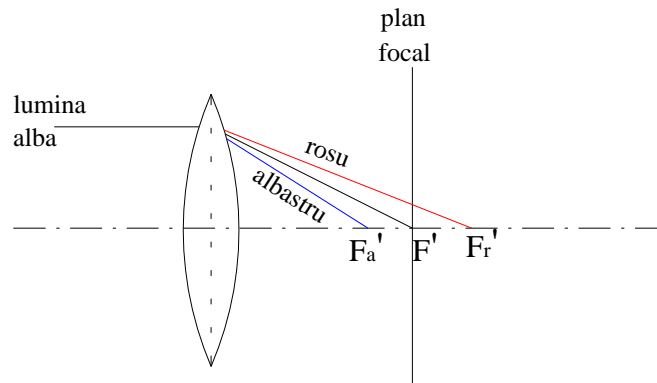


Fig. 1.19 Aberația cromatică

Obiective fotogrammetrice

Aparatura fotogrammetrică este echipată cu obiective special construite, întrucât acestea trebuie să asigure reprezentarea spațiului real prin proiecție centrală riguroasă pe o suprafață plană. Imaginile trebuie să fie clare, să redea cele mai fine detalii ale obiectelor fotografiate, să fie nedeformate. Pentru aceasta obiectivele fotogrammetrice trebuie să aibă calități deosebite (luminozitate corespunzătoare, putere mare de rezolvare), iar aberațiile de orice fel să fie reduse la minimum, mai ales cele care deformează imaginea, întrucât pe fotograme se realizează măsurători.

Se disting obiective fotogrammetrice folosite în fotogrammetria terestră și obiective fotogrammetrice folosite în fotogrammetria aeriană.

Preluarea fotogramelor în fotogrammetria terestră se face din puncte fixe, timpul de expunere poate fi lung și deci luminozitatea mai redusă. Drept urmare construcția obiectivelor este mai simplă, iar imaginile obținute sunt de foarte bună calitate.

În fotogrammetria aeriană, camera de preluare fiind în zbor, este necesar ca timpul de expunere să fie foarte scurt și deci luminozitatea obiectivelor să fie mare, pentru ca imaginea preluată să fie netrenată.

Pentru a se mări randamentul de preluare se recomandă ca unghiul de câmp să fie mare sau foarte mare, astfel să se poată reduce înălțimea de zbor și deci și erorile provenite din cauza refracției atmosferice. Mărirea câmpului de fotografiere conduce însă la creșterea efectului aberațiilor de distorsie și de iluminare.

Pentru a obține obiective corespunzătoare, firmele constructive au combinate diferite medii optice cu caracteristici diferite obținând obiective care au capacitatea de a realiza imagini clare și corecte din punct de vedere fotogrammetric, asimilabile cu proiecția centrală.

Obturatorul

Obturatorul este un dispozitiv mecanic ce permite luminii să treacă prin obiectiv într-un interval de timp prestabilit, numit timp de expunere.

Randamentul luminos al obiectivului reprezintă raportul dintre cantitatea reală de lumină care trece prin obiectiv și cantitatea de lumină care ar trebui să treacă, în același interval de timp (Fig. 1.20).

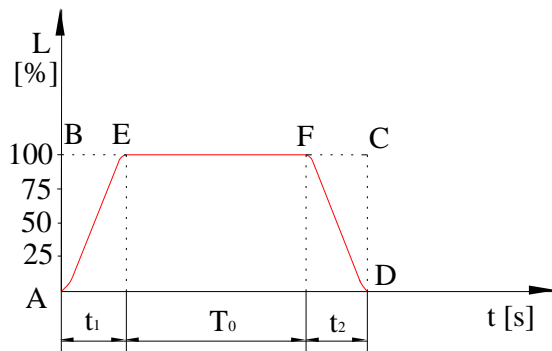


Fig. 1.20 Randamentul luminos al obturatorului

L [%] – cantitatea de lumină ce trece prin obiectiv;

t [s] – timpul de expunere, format din

- t_1 – timpul de deschidere;
- T_0 – timpul cât obturatorul este deschis;
- t_2 – timpul de închidere.

$$\eta = \frac{S_{AEFD}}{S_{ABCD}} [\%] \quad (1.10)$$

Pentru timpi foarte mici de expunere, $\eta \cong 90\%$.

Obturatorul modern trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să asigure expunere uniformă și simultană a tuturor punctelor fotogramei;
- randamentul luminos să fie cât mai apropiat de 1 și să nu fie influențat de mărimea timpului de expunere;
- funcționarea obturatorului să nu fie influențată de factorii externi (temperatură, presiune, umiditate, etc.);
- să se poată adapta la timpii de expunere ceruți în practică.

Obturatorul poate fi amplasat în imediata apropiere a planului focal (Fig. 1.21, poziția 1) - obturator de placă, în cazul unor timpi de expunere foarte mici. O astfel de poziționare prezintă dezavantajul unei viteze neuniforme și o sensibilitate ridicată la condițiile atmosferice.

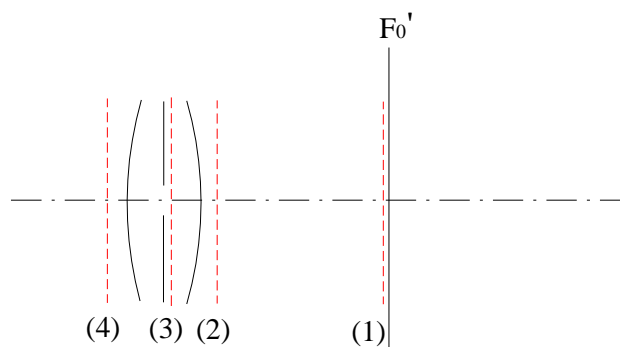


Fig. 1.21 Amplasarea obturatorului

Obturatorul poate fi amplasat în imediata apropiere a obiectivului (Fig. 1.21, pozițiile 2, 3, 4) - obturator de obiectiv, poziția cea mai favorabilă fiind poziția în care fasciculul luminos are secțiunea minimă (poziția 3), iluminarea materialului fotografic fiind aproape simultană pentru toate punctele fotogramei.

Constructiv obturatoarele pot fi: cu discuri, cu sectoare, cu lamele.

Diafragma

Diafragma este acea componentă a obiectivului fotografic care limitează deschiderea fasciculului luminos ce pătrunde prin obiectiv.

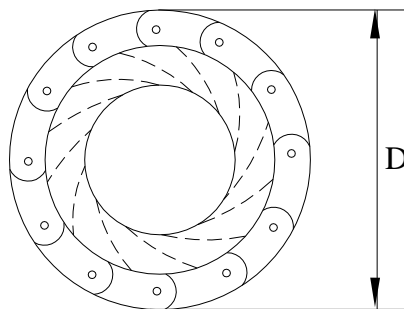


Fig. 1.22 Diafragma de tip IRIS

La echipamentele fotogrammetrice cel mai utilizat tip de diafragmă este IRIS, compus din mai multe sectoare circulare confecționate din plăci metalice prevăzute cu articulații speciale spre extremități (Fig. 1.22).

Rotirea unui inel exterior care acționează asupra articulațiilor face ca lamelele să se depărteze sau să se apropie de circumferința inelului, micșorând sau mărirând diametrul golului interior. Imagini cât mai clare se obțin prin utilizarea de deschideri mici ale diafragmei, ceea ce impune mărirea timpului de expunere care atrage după sine însă apariția efectului de „trenare”.

Din acest motiv trebuie aleasă combinația optimă „timp de expunere - deschidere a diafragmei”. Camerele fotogrammetrice aeriene moderne au încorporate dispozitive de compensare a trenării, astfel că pot fi utilizate platforme aeriene de viteză mare și deschideri mici ale diafragmei camerei.

Filtrele de lumină

Filtrele de lumină permit trecerea selectivă a radiațiilor cu o anumită lungime de undă, absorbându-le pe celelalte.

Fiind niște medii optice suplimentare în calea razelor luminoase, filtrele trebuie să îndeplinească condiții stricte de planeitate și de paralelism ale fețelor.

Sunt utilizate următoarele tipuri de filtre:

- filtre monocromatice - permit trecerea doar a radiațiilor corepunzătoare unei singure culori;
- filtre selective - permit trecerea radiațiilor corespunzătoare mai multor culori, absorbându-le pe celelalte;
- filtre de compensație - permit trecerea unor radiații din mai multe zone ale spectrului luminos, modificând compoziția lor spectrală.

Alegerea filtrelor adecvate trebuie făcută cu atenție, firmele constructoare de camere fotogrammetrice aeriene recomandând filtrele care trebuie utilizate pentru eliminarea voalului și obținerea de imagini cu contrast bun.

Capitolul 2

Elemente de sensitometrie fotografică

În cazul fotogrammetriei analogice, imaginea optică formată de obiectiv sub influența luminii este o imagine invizibilă numită imagine latentă. Pentru ca imaginea latentă să devină vizibilă și să dureze în timp trebuie supusă unei operații chimice numită developare. Realizarea imaginii latente are loc în teren, iar developarea și obținerea imaginii fotografice are loc în laborator.

Emulsiile fotosensibile pe care se înregistrează imaginea latentă a obiectelor fotografiate se compun din cristale fine de halogenură de argint introduce într-un liant pe bază de gelatină (Fig. 2.1)

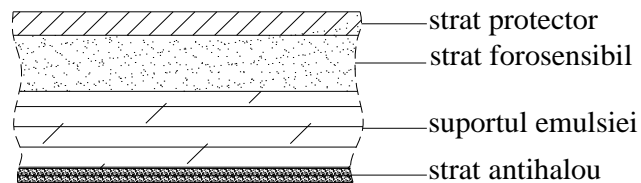


Fig. 2.1 Straturile componente ale materialului fotografic alb-negru

Straturile componente ale unui material fotografic alb-negru sunt:

1. strat protector
2. strat fotosensibil
3. suportul emulsiei
4. stratul antihalou

Când suportul materialului fotografic este transparent (placă de sticlă, film), pe partea sa dorsală se întinde un strat translucid colorat - stratul antihalou, strat care împiedică reflexia luminii pătrunse prin suport în timpul expunerii, reflexia care creează imagini parazite difuze.

Pe partea superioară a materialului fotografic se întinde un strat protector de gelatină, pentru protejarea stratului fotosensibil contra zgârieturilor.

Materialele fotografice alb-negru moderne au două straturi fotosensibile, al doilea începând să lucreze la expuneri prelungite, asigurând o redare mai bună a detaliilor.

Gelatina fotografică constituie 50% din volumul unui strat fotosensibil pozitiv și 50-60% din volumul unui strat fotosensibil negativ și are rolul de a înveli particulele de halogenură de argint, împiedecând developarea spontană a acestora la developare.

Bramura de argint ($AgBr$) este o substanță fotosensibilă folosită la producerea emulsiilor fotosensibile. Reprezintă 95-98% din substanța fotosensibilă conținută de emulsie, restul de 2-5% fiind reprezentat de clorura de argint ($AgCl$) sau iodura de argint (AgI), care asigură creșterea sensibilității emulsiei fotosensibile.

Proprietatea cea mai importantă a emulsiei constă în faptul că, sub acțiunea luminii, reacționează asupra microcristalelor de halogenură de argint, slăbind legăturile ionice ale rețelei.

Atomii de haloid ce s-au format se unesc în molecule care se desprind de cristal și sunt absorbite de gelatina emulsiei. O parte din argintul haloidic se descompune odată cu formarea haloidului și a argintului metallic care se repartizează în rețeaua cristalină.

Atomii izolați de argint se reunesc în particule coloidale sub forma unor pete negre, formând imaginea latentă și servesc ca centre de fotosensibilitate. Aceste centre se colorează sub acțiunea luminii, formând deci imaginea latentă.

Prin procesul dezvoltării apare imaginea formată în mod vizibil, sub formă de negativ, cu zone de culoare închisă și zone de culoare deschisă.

Materialele fotografice color se obțin prin așezarea a trei straturi succesive de emulsii diferite pe același suport (Fig. 2.2).

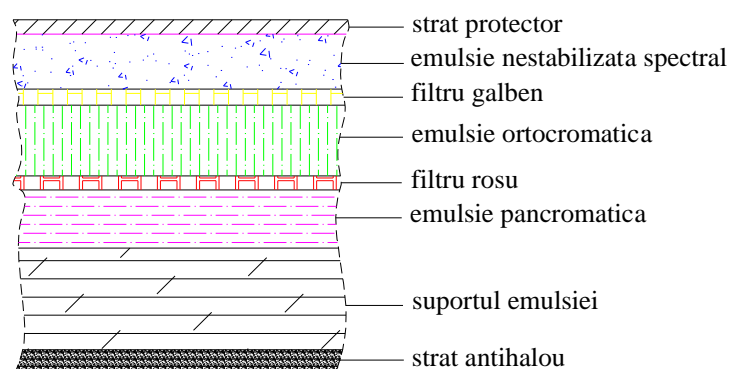


Fig. 2.2 Straturile componente ale materialului fotografic color

Straturile componente ale unui material fotografic color sunt:

1. strat protector;
2. emulsie nestabilizată spectral;
3. filtru galben;
4. emulsie ortocromatică;
5. filtru roșu;
6. emulsie pancromatică;
7. suportul emulsiei;
8. strat antihalou.

Radiațiile luminoase pătrund prin stratul protector și întâlnesc stratul de emulsie nestabilizată spectral, emulsie sensibilă doar la radiațiile albastru-violet, formând în interiorul acesteia o imagine latentă. Radiațiile albastru-violet care au străbătut stratul de emulsie nestabilizată spectral și nu au participat la formarea imaginii latente în primul strat fotosensibil sunt absorbite de filtrul galben. Radiațiile din spectrul vizibil rămase pătrund în stratul de emulsie ortocromatică, strat sensibil la radiațiile verzi și formează imaginea latentă în acest strat. Radiațiile verzi care nu au participat la realizarea imaginii

latente în stratul de emulsie ortocromatică sunt reținute de filtrul roșu. Radiațiile roșii, singurele rămase din radiația incidentă, formează o imagine latentă pe stratul de emulsie pancromatică.

Prin dezvoltare apar trei imagini colorate:

a. pe negativ: culorile complementare radiațiilor care au format cele trei imagini latente și anume: galben, purpuriu (magenta) și albastru (cian);

b. pe diapozitiv: albastru, verde și roșu.

Prin suprapunerea lor, în funcție de densitatea culorilor din fiecare strat fotosensibil, este reprodusă fie culoarea fotografiată (diapozitiv), fie culoarea complementară (negativ).

Proprietățile emulsiilor fotosensibile

Sensitometria studiază însușirile și comportamentul emulsiilor fotosensibile care condiționează calitatea unei imagini.

Principalele însușiri ale emulsiilor fotosensibile sunt:

- sensibilitatea la lumină;
- sensibilitatea cromatică;
- puterea de rezolvare (de separare);
- funcția de transfer a contrastului.

Sensibilitatea la lumină

Sensibilitatea la lumină reprezintă cantitatea de lumină naturală necesară pentru a produce o anumită înnegrire, care să depășească densitatea voalului fotografic cu o anumită înnegrire, care să depășească densitatea voalului fotografic cu o anumită valoare, aleasă convențional. Se exprimă în unități GOST (sistem rusesc), grade DIN (sistem german), indici de expunere ASA (sistem american), etc., între aceste sisteme existând corespondențe precise.

Cu ajutorul sensitometrului se construiește curba caracteristică a emulsiei, care exprimă legătura dintre densitatea fotografică și iluminare (Fig. 2.3).

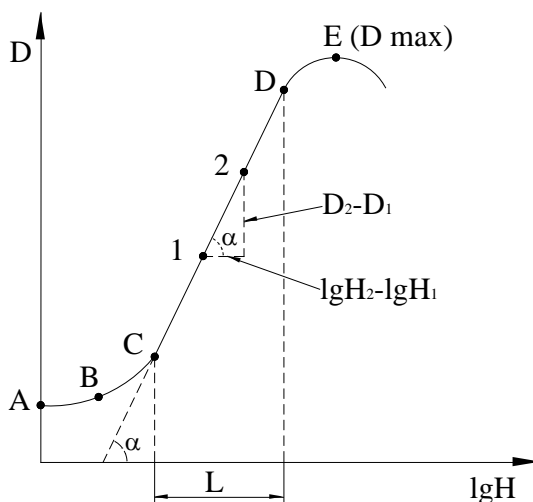


Fig. 2.3 Curba caracteristică a emulsiei

Pe această curbă se disting zonele:

A-B – zona voalului, în care deși iluminarea crește, densitatea rămâne aproape aceeași;

B-C – zona subexpunerii, în care creșterea densității este destul de mică, deși iluminarea crește;

C-D – zona expunerii corecte, unde creșterea densității este proporțională cu creșterea iluminării;

D-E – zona supraexpunerii, în care densitatea atinge o valoare maximă, creșterea sa însă nefiind proporțională cu creșterea iluminării;

E→ – zona solarizării (inversiunii), în care densitatea descrește deși iluminarea crește.

Intervalul care interesează în mod deosebit din această curbă este porțiunea rectilinie care definește o serie de caracteristici ale materialelor fotosensibile:

- coeficientul de contrast γ indică înclinarea porțiunii rectilinii în raport cu axa orizontală și se exprimă prin raportul diferențelor de densitate la diferențele de expunere:

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1} = \frac{\Delta D}{\Delta \lg H} \quad (2.1)$$

$\gamma = 1,6 \pm 0,2$ – pentru un material fotografic de calitate bună.

- latitudinea topografică L reprezintă proiecția pe abscisa porțiunii rectilinii a curbei caracteristice:

$$L = \lg H_{(D)} - \lg H_{(C)} \quad (2.2)$$

Între intervalul de strălucire a obiectelor din teren (S), latitudinea fotografică L și timpul de expunere trebuie să existe următoarele relații:

- când strălucirea (S) este egală cu latitudinea fotografică L , timpul de expunere trebuie bine ales întrucât orice abatere face ca o parte a imaginii să intre în zona supraexpunerii sau cea a subexpunerii;

- când strălucirea (S) este mai mare ca latitudinea fotografică L , dacă expunerea este normală, se vor modifica în mod corespunzător contrastele din zonele extreme; se admite o deplasare spre supraexpunere;

- când strălucirea (S) este mai mică decât latitudinea fotografică L avem cazul favorabil, deoarece se poate modifica timpul de expunere în limite mai largi fără a influența în mod deosebit strălucirea obiectului.

Influența condițiilor de dezvoltare

Pentru un revelator și pentru un timp de dezvoltare dat corespunde o anumită curbă caracteristică care are coeficientul de contrast γ propriu. Modificarea condițiilor de dezvoltare, cu menținerea constantă a celorlalte condiții, conduce totuși la obținerea unei rețele de curbe. Creșterea timpului de expunere sau al dezvoltării conduce la creșterea unghiului α al curbei caracteristice. Pentru o expunere prelungită se tinde spre ∞ .

Se constată că curbele se deduc prin afinitate unele față de altele, de unde rezultă că:

- duratele expunerii corespunzând subexpunerii și expunerii corecte sunt independente de durata dezvoltării;

- părțile rectilinii concură în același punct I – inerția emulsiei;

- fiecare curbă este caracterizată prin coeficientul de contrast γ care este în funcție de durata dezvoltării pentru un revelator dat.

Sensibilitatea cromatică

Sensibilitatea cromatică reprezintă capacitatea stratului fotosensibil de a fi impresionat în mod diferențiat de radiațiile cu diferite lungimi de undă din spectrul luminos vizibil și invizibil.

Cunoașterea sensibilității la culori a emulsiilor ne ajută la alegerea corespunzătoare a acestora, funcție de particularitățile spectrale ale peisajului fotografiat. Sensibilitatea emulsiilor depinde de lungimea de undă. Pentru practica obișnuită sunt indicate emulsiile pancromatice care asigură obținerea unor imagini de calitate. Emulsiile infracromatice sunt proprii obținerii de fotografii noaptea și la distanțe sau înălțimi mari, precum și în cazul vizibilității reduse din cauza suspensiilor atmosferice.

Puterea de rezolvare

Receptarea în cele mai bune condiții a imaginii proiectate de către obiectivi este condiționată și puterea de rezolvare a emulsiei.

Puterea de rezolvare a unei emulsii reprezintă capacitatea de a reproduce un detaliu fin. Se exprimă (ca și la obiectivi) prin numărul de linii albe și negre ce pot fi observate distinct pe un milimetru și depinde de granulația și contrastul emulsiei. Puterea de rezolvare este un indicator al abilității emulsiei de a da imagini distincte obiectelor din natură. Ea este însă mult mai mică decât a obiectivelor (25 linii/mm).

Determinarea puterii de rezolvare a emulsiei se face, ca și în cazul obiectivelor, cu ajutorul unor mire test.

Puterea de rezolvare nu caracterizează pe deplin o emulsie. Emulsia este caracterizată în plus de claritate, respectiv de acutanță.

Acutanța este rata variației densității ce se poate măsura. Diferența de acutanță poate fi cauzată de difuziunea luminii, de lichiditatea emulsiei, de grosimea ei. Acutanța este influențată și de dezvoltanți și de condițiile dezvoltării. Dezvoltarea poate afecta claritatea imaginii sub multiple raporturi, inclusiv puterea de rezolvare.

Funcția de transfer a contrastului

Perfecționarea continuă a obiectivelor fotografici a dus la necesitatea apariției unui nou criteriu de apreciere a calității imaginilor. Un astfel de criteriu trebuie să fie în general valabil în toate situațiile, să fie sesizabil ușor atât din punct de vedere teoretic cât și experimental, să fie obiectiv.

Funcția de transfer a contrastului exprimă raportul contrastului în planul imaginii și contrastul obiectului din spațiu pentru orice situație din natură:

$$c = \frac{k'}{k} \quad (2.3)$$

$$k' - \text{contrastul imaginii:} \quad k' = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \quad (2.4)$$

A_{\max} și A_{\min} sunt valorile maxime și minime ale iluminării imaginii în zonă;
 k - contrastul obiectului.

Funcția de transfer a contrastului se exprimă în procente.

Funcția de transfer a emulsiei este independentă de funcția de transfer a obiectivului, dar prin combinarea lor se obține o caracteristică rezultantă care influențează asupra calității imaginii.

Suportul emulsiilor

Pentru imaginile negative, în cazul fotogrammetriei analogice, suportul pe care este depusă emulsia fotosensibilă este transparent și poate fi filmul sau placa de sticlă.

a) filmul prezintă avantaje în ceea ce privește maleabilitatea, greutatea redusă, volumul mic, operativitatea, însă produce importante erori de deformare neuniformă și de planeitate. Planeitatea filmului se realizează de obicei prin vacuum creat pe spatele filmului, sau cu ajutorul unui cristal de presiune situat pe fața emulsiei - dotat cu o rețea de linii rectangulare echidistante, față de care se pot determina riguros efectele neplaneității cât și eventualele distorsiuni reziduale. Lipsa de planeitate a filmului provoacă erori de poziție și claritate. Neplaneitatea materialului fotosensibil poate produce erori ce ating valori de 10-20 μ , iar erorile cauzate de variația grosimii filmelor ajung la valori de $\pm 10\mu$. Filmele mai prezintă și dezavantajul că trebuie dezvoltate pe lungime mare.

b) plăcile de sticlă sunt din sticlă ordinară cu grosimi de 1-3 mm. Sunt preferabile cele cu grosimea de 3 mm, întrucât cele subțiri produc, după dezvoltare, o deformare mai accentuată. Avantajele plăcilor de sticlă sunt: manipulare ușoară, deformări foarte mici și izotrope în timp, planeitatea emulsiei, posibilitatea dezvoltării bucată cu bucată, modificând condițiile de dezvoltare dacă este cazul, conservare ușoară. Datorită greutății și fragilității lor însă, sunt utilizate cu precădere în fotogrammetria terestră.

În cazul imaginilor pozitive obținute prin fotografiere, suportul emulsiilor fotosensibile este hârtia fotografică.

Dezvoltarea emulsiilor fotosensibile

Procesul chimic prin care imaginea latentă devine vizibilă se numește dezvoltare. Este un proces de reconstituire a argintului metalic dar mult mai energetic.

Dezvoltarea dranelor de emulsie decurge după legea autocatalitică, adică viteza de dezvoltare a granulei crește continuu, până când granula se va dezvolta în întregime.

O atenție deosebită trebuie acordată la dezvoltare contrastului corect, care constă în prelungirea dezvoltării la o temperatură constantă și într-un timp stabilit.

Dezvoltanții sau soluțiile dezvoltante conțin:

- revelatorul (substanța dezvoltantă propriuzisă), care reduce bromura de argint în argint metallic și un proces de oxidare;

- acceleratorul, care accelerează procesul de reducere prin introducerea unei substanțe alcaline care mărește *pH*-ul ($pH > 7$);

- atenuatorul, care protejează porțiunile de bromură de argint neexpuse de acțiunea prea energică care putea voala întreaga suprafață;

- antivoalul;

- substanța conservatoare, care menține capacitatea ridicată a revelatorului, combinându-se cu oxigenul și împiedicând oxidarea revelatorului;

- solventul.

Capitolul 3

Bazele geometrice ale Fotogrammetriei

Fotograma – proiecție centrală

Măsurătorile efectuate în vederea determinării formei, dimensiunilor și poziției în spațiu a obiectelor sunt realizate pe fotograme.

Din punct de vedere geometric fotograma este o perspectivă sau proiecție centrală și îndeplinește întocmai legile acesteia.

Perspectiva centrală este operația de reprezentare a obiectelor din spațiul tridimensional pe un plan de proiecție, cu ajutorul dreptelor de proiecție ce trec printr-un punct comun numit centru de proiecție (Fig. 3.1).

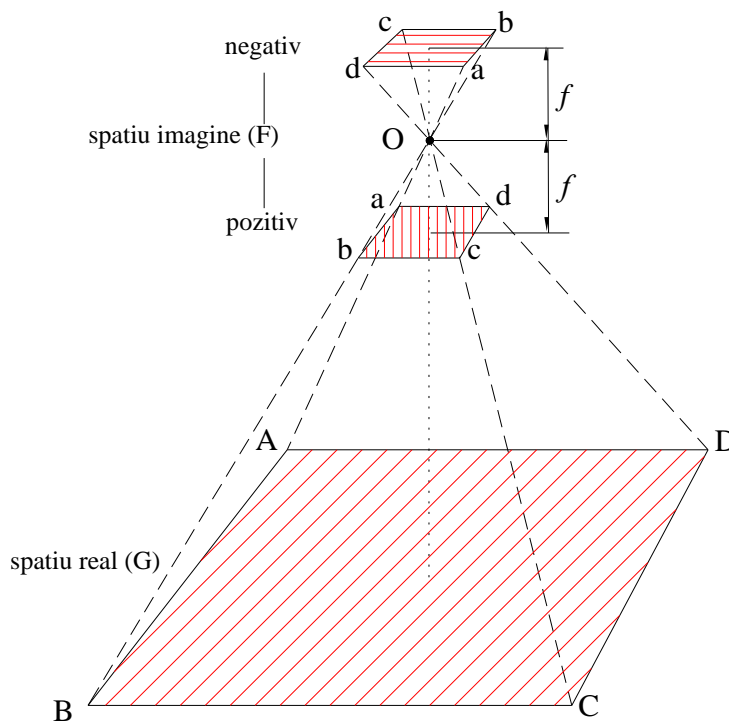


Fig. 3.1 Fotograma - proiecție centrală

- razele de proiecție sunt razele care pornesc de la punctele reale ale obiectului (A, B, C, D), trec prin centrul de proiecție O și întâlnesc planul de proiecție (F) în punctele a, b, c, d ; razele de proiecție sunt convergente în centrul de proiecție O după care diverg în spațiul imagine (F).

- planul de proiecție (F) poate fi situat înaintea centrului de proiecție (când se obțin imagini pozitive), sau după centrul de proiecție (când se obțin imagini negative) și poate avea diferite poziții în spațiu (oarecare, vertical, orizontal); în cazul fotogrammetriei terestre planul de proiecție este vertical, iar în cazul fotogrammetriei aeriene este orizontal sau ușor înclinat; din punct de vedere fotogrammetric planul de proiecție este

chiar fotograma;

- centrul de proiecție O are o poziție bine definită în spațiu și se găsește la o distanță finită atât în spațiul real cât și în planul de proiecție; centrul de proiecție este punctul în care converg razele provenite din spațiul real, pentru ca în spațiul imagine să se formeze imaginea obiectelor reale; din punct de vedere fotogrammetric centrul de proiecție este chiar obiectivul aparatului de fotografiat.

Proiecția centrală asigură fiecărui punct din spațiul real un punct corespondent în planul de proiecție, obținut la intersecția razei de proiecție cu planul de proiecție.

La stabilirea relațiilor matematice dintre punctele obiectului din spațiul real și imaginea sa în planul imagine se ține cont de legile perspectivei centrale:

- I. centrul de proiecție O are o poziție finită și bine determinată în spațiul real (obiect);
- II. razele de proiecție sunt concurente în centrul de proiecție, iar punctele imagine sunt urmele acestor drepte pe planul de proiecție;
- III. punctele spațiului real, centrul de proiecție și punctele imagine corespunzătoare sunt coliniare;
- IV. raportul armonic dintre punctele din spațiul real și punctele corespunzătoare din spațiul imagine se menține constant:

$$\frac{AB}{ab} = \frac{BC}{bc} = \frac{CD}{cd} = \frac{DA}{da} = k = const. \quad (3.1)$$

Elementele geometrice specifice proiecției centrale

Suprafața reală a pământului este reprezentată prin proiecția ortogonală pe un plan orizontal numit geometral (G). Unghiul diedru format de planul geometral (G) cu planul perspectivei centrale (F) se numește unghi nadiral ν ($\nu = 0 \div 90^\circ$) (Fig. 3.2).

Planul vertical principal (V) este perpendicular pe planul (G) și pe planul (F).

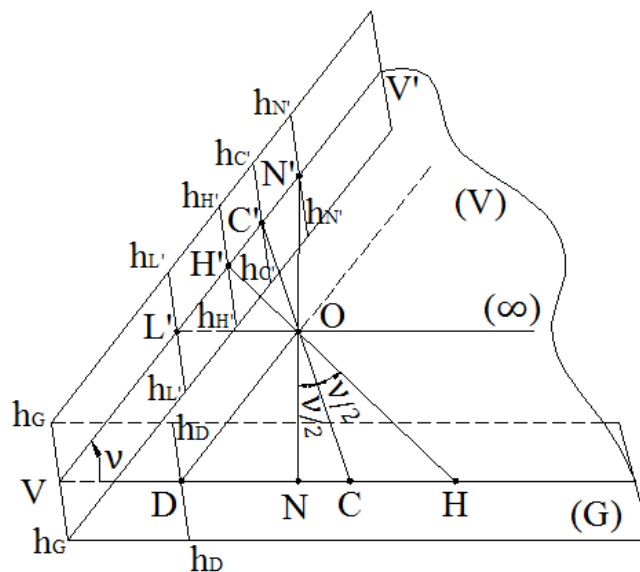


Fig. 3.2

Drepte caracteristice:

- dreapta VV' - verticala principală se obține la intersecția planului vertical (V) cu planul fotogramei (F); pe verticala principală se găsesc toate punctele caracteristice (H' , L' , N' , C');

- dreapta hch_G - orizontala principală se obține la intersecția planului geometral (G) cu planul fotogramei (F); orizontala principală hch_G este perpendiculară pe verticală principală VV' .

Puncte principale:

- H' - punct principal, reprezentat de piciorul perpendicularei duse prin centrul de proiecție O (conținut în planul (V)) la planul fotogramei (F). Distanță OH' se numește distanță principală și se notează cu f , iar din punct de vedere fotogrammetric reprezintă distanța focală a obiectivului. Punctul H' , fiind proiecția centrului O pe fotogramă, este considerat origine a sistemului de referință fotogrammetric plan.

Poziția punctului principal H' și a distanței principale $OH'=f$ este bine determinată.

Corespondentul punctului H' în planul geometral (G) este punctul H .

- N' - punct nadiral, este punctul de intersecție al perpendicularei duse prin punctul O (conținut în planul (V)) la planul (G) cu verticala principală VV' ; corespondentul său în planul geometral (G) este punctul N , numit nadir = cel mai jos.

Cu ajutorul punctului nadiral se perspectivează (proiectează) pe planul fotogramei toate dreptele verticale din planul geometral.

- L' - punct de fugă, este punctul de intersecție al orizontalei care trece prin punctul O cu verticala principală VV' ; corespondentul punctului de fugă în spațiul real este ∞ .

Cu ajutorul punctului de fugă se proiectează toate dreptele orizontale din spațiul real.

- C' - izocentrul sau punct de deformații nule, reprezentat de piciorul bisectoarei unghiului nadiral format de verticala locului în punctul O și direcția principală OH' . Toate dreptele care trec prin acest punct își mențin direcția din spațiu.

- D - punct de dispariție, punctul de intersecție al paralelei duse prin O la verticala principală VV' cu planul geometral (G).

Orizontala planului (G) care trece prin punctul D și este paralelă cu orizontala principală hch_G se numește dreapta de dispariție (hdh_D). Spațiul real cuprins între dreptele hch_G și hdh_D se numește domeniu de dispariție, punctele aflate în acest domeniu neformându-și imaginea în planul perspectivei centrale.

Orizontalele planului fotogramei (F) care trec prin punctele caracteristice H' , L' , N' , C' , au următoarele semnificații:

- $h_H h_H$ - orizontala principală;

- $h_L h_L$ - orizontala de fugă;

- $h_N h_N$ - orizontala nadirală;

- $h_C h_C$ - orizontala izometrică.

Distanțele dintre punctele H' , L' , N' , C' , aflate toate pe verticala principală VV' , se determină cu ajutorul relațiilor:

$$\begin{aligned}
H'N' &= f \cdot \operatorname{tg} \nu & H'C' &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{\nu}{2} & H'L' &= \frac{f}{\operatorname{tg} \nu} \\
ON' &= \frac{f}{\cos \nu} & OC' &= \frac{f}{\cos \frac{\nu}{2}} & OL' &= \frac{f}{\sin \nu} \\
L'N' &= \frac{2f}{\sin 2\nu}
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

În cazul fotogrammetriei terestre, când planul fotogramei este vertical ($\nu = 90^\circ$), vom avea:

$$\begin{aligned}
OH' &= OL' = H'C' = f & (\text{punctul } L' = H') \\
H'N' &= ON' = L'N' = \infty & (\text{punctul } N' = \infty)
\end{aligned}
\tag{3.3}$$

Perspectivarea elementelor reale pe planul de proiecție

Ne ajută să înțelegem modalitatea de înregistrare a elementelor din spațiul real pe planul de proiecție, adică pe imaginea fotografică. În acest scop se utilizează metoda proiecției centrale.

Proiectarea dreptelor orizontale.

Dreptele AB și CD sunt situate în planul geometral (Fig. 3.3), fiind paralele cu dreapta de intersecție dintre acest plan și planul vertical. Planul de proiecție este înclinat cu unghiul ν față de geometral. Dreptele AB și CD fiind orizontale se vor proiecta cu ajutorul punctului de fugă L' .

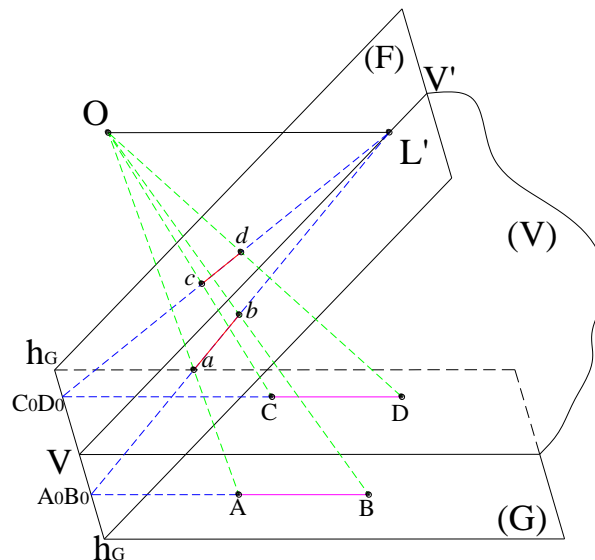


Fig. 3.3 Proiectarea dreptelor orizontale pe planul de proiecție

Se prelungesc dreptele din spațiul real până la intersecția lor cu planul imagine. Astfel se obțin, pe orizontala principala hch_G , punctele A_oA_o și C_oD_o care sunt proiecțiile dreptelor AB respectiv CD pe dreapta de intersecție cu planul fotogramei.

Se unește punctul de fuga L' cu proiecțiile A_oA_o respectiv C_oD_o , obținând proiecțiile centrale ale dreptelor pe planul fotogramei. Din centrul de proiecție O se trasează fasciculus proiectiv către capetele dreptelor AB și CD . La intersecția razelor de proiecție cu proiecțiile centrale ale dreptelor pe planul fotogramei, se obțin punctele a, b respectiv c, d , care delimitează imaginile celor două drepte pe fotogramă.

Se observă că două drepte din planul geometral, paralele între ele și paralele cu planul (V) , se proiectează pe planul imagine, prin proiecție centrală, ca două drepte ce tind să se intersecteze în punctul de fuga L' și deformate conform raportului armonic.

Două drepte din planul geometral, paralele între ele și paralele cu orizontala principala hch_G se proiectează ca două drepte paralele între ele, deformate conform raportului armonic și paralele și cu hch_G .

Cele două imagini sunt paralele întrucât hch_G este conținută atât în planul fotogramei cât și în planul geometral.

Dacă planul imagine este vertical (unghiul nadiral $\nu = 90^\circ$), atunci punctul de fugă L' este identic cu punctul principal H' , iar imaginea a două drepte se proiectează astfel:

- dacă cele două drepte din spațiul real sunt paralele între ele și paralele cu planul vertical (V) , atunci imaginile celor două drepte în planul imagine converg către punctul de fugă;

- dacă cele două drepte din spațiul real sunt paralele între ele și paralele cu orizontala principală hch_G , imaginile celor două drepte sunt paralele în planul imagine.

Dacă planul imagine este orizontal ($\nu = 0^\circ$), punctul de fuga L' tinde spre infinit, atunci imaginile a două drepte paralele între ele și paralele fie cu planul (V) fie cu orizontala principală hch_G , în planul imagine vor fi tot paralele și deformate conform raportului armonic:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{cd}{CD} = \frac{f}{h} = k \quad (3.4)$$

f – distanța focală a obiectivului;

h – distanța nadirală (înălțimea centrului de proiecție față de geometral).

Proiectarea dreptelor verticale.

Dreptele AB și CD sunt paralele între ele și perpendiculare pe planul geometral (G) (Fig. 3.4). Planul imagine (F) este înclinat cu unghiul ν față de geometral. Dreptele AB și CD fiind verticale, se vor proiecta pe planul imagine cu ajutorul punctului nadiral N' . Se prelungesc dreptele AB și CD până când acestea înțepă planul imagine (F) . Se obțin punctele A_oA_o respectiv C_oD_o , care se unesc cu punctul nadiral N' . Se duc apoi razele de proiecție O spre punctele A, B, C, D . Punctele a, b, c, d , obținute la intersecția razelor de proiecție cu dreptele $N'A_oB_o$ și $N'C_oD_o$, delimitează imaginea dreptelor AB respectiv CD în planul imagine. Imaginile ab și cd sunt deformate și au tendința de a se intersecta în punctul nadiral N' .

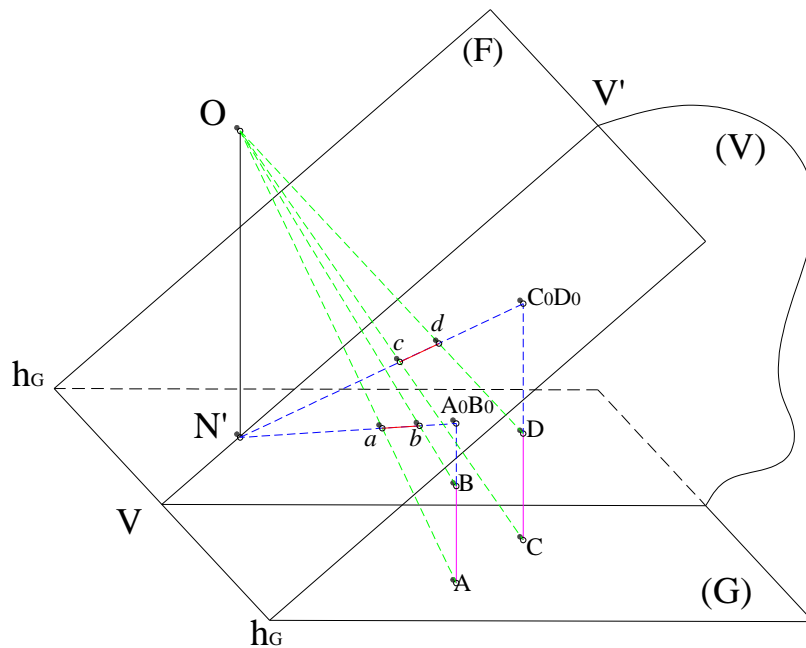


Fig. 3.4 Proiectarea dreptelor verticale pe planul de proiecție

Dacă planul imagine este vertical ($\nu = 90^\circ$), întrucât punctul nadiral N' tinde spre ∞ , proiecțiile dreptelor verticale din spațiul real în planul imagine (ab, cd) își păstrează paralelismul, dar se deformează într-un raport de omotetie K , dat de distanța focală f și distanța de la centrul de proiecție O la fiecare din drepte în parte, măsurată în plan orizontal:

$$\frac{f}{d_1} = K_{ab}; \quad \frac{f}{d_2} = K_{cd} \quad (3.5)$$

Dacă planul imagine este orizontal ($\nu = 0^\circ$), punctul nadiral N' coincide cu punctul principal H' , iar imaginile dreptelor verticale sunt deformate în planul imagine și tind ca direcție spre punctul nadiral N' .

Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie

Relațiile dintre obiectul real și proiecția sa în planul imagine se stabilesc considerând sisteme de coordonate convențional alese, față de care se vor ordona punctele imagine și punctele obiectului real.

Sistemul coordonatelor plane fotogrammetrice

Este un sistem plan rectangular, cu originea în punctul principal H' . Axele sistemului de referință se obțin prin unirea indicilor de referință ai camerei fotogrammetrice. Acești indici sunt plasați pe cadrul camerei în așa fel încât originea sistemului să corespundă cu centrul fotogramei (Fig. 3.5).

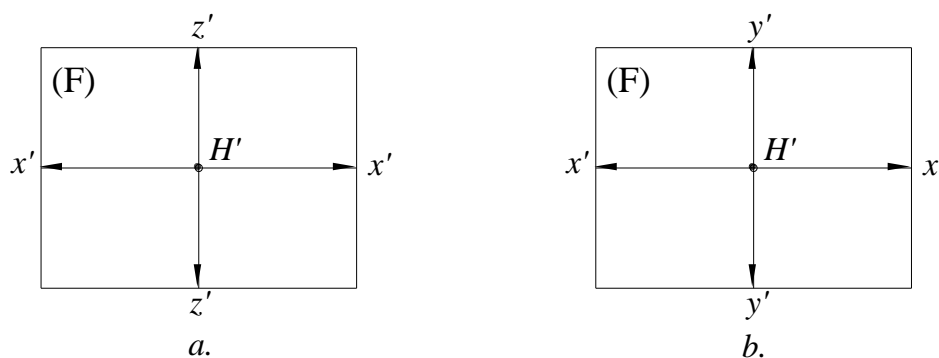


Fig. 3.5 Sistemul coordonatelor plane fotogrammetrice

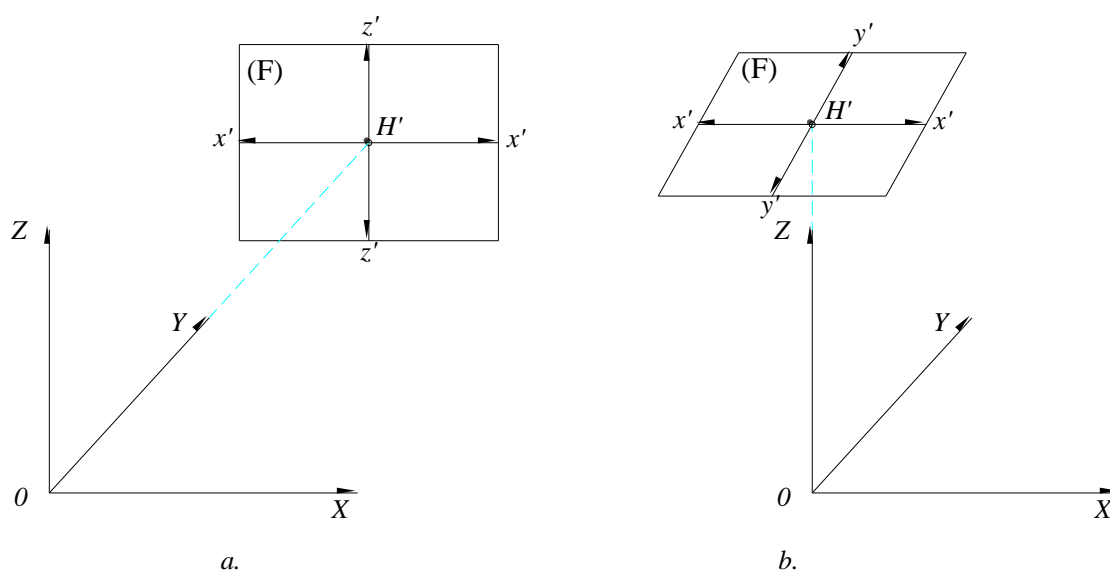


Fig. 3.6 Sistemul coordonatelor spațiale OXYZ

În fotogrametria terestră (Fig. 3.5 a) axele sistemului sunt $x'x'$ și $z'z'$.

În fotogrametria aeriană (Fig. 3.5 b) axele sistemului sunt $x'x'$ și $y'y'$; axa $x'x'$ este dirijată funcție de direcția de zbor a avionului.

Sistemul coordonatelor spațiale OXYZ

Este un sistem de coordonate triaxial rectangular, cu axele X și Y dispuse în planul geometralului, iar axa Z - axa verticală.

Originea sistemului este considerată în centrul de proiecție al imaginii (Fig. 3.6).

În fotogrametria terestră (Fig. 3.6 a) axele paralele cu planul imaginii sunt X și Z , iar axa Y este dirijată pe direcția de fotografiere și exprimă depărtarea punctului față de centrul de proiecție.

În fotogrametria aeriana (Fig. 3.6 b) axa Z este dirijată pe direcția axei de fotografiere.

Sistemul coordonatelor geodezice sau topografice XYZ

Este definit în spațiul real și poate fi sistemul național sau un alt sistem local față de care se fac determinări.

Legătura dintre cele două sisteme (spațial și geodezic sau topografic) se face prin operații de transcalcul, pornind de la minimum 3 puncte cu coordonatele cunoscute comune celor două sisteme. Ca puncte de legătură între cele două sisteme se folosesc reperele fotogrammetrice.

Elementele de orientare ale fotogramelor

Dacă prin legiile perspectivei centrale s-a stabilit că între punctele: A, B, C, D din spațiul real existe corespondență univocă cu punctele: a, b, c, d din planul perspectivei, fiecărui punct din spațiul real corespunzându-i un singur punct imagine, corespondența de la punctele imagine: a, b, c, d din planul imagine la punctele: A, B, C, D din spațiul real nu mai este univocă, unui punct imagine putându-i corespunde o infinitate de puncte.

Elementele de orientare ale fotogramelor stabilesc corespondența dintre punctele spațiului real și imaginile lor pe planul fotografei.

Cu ajutorul lor poate fi reconstruită poziția fotografei în momentul fotografierii.

Determinarea completă a fotografei ca perspectivă centrală este realizată numai atunci când se cunosc elementele care determină, pe de o parte, poziția planului fotografei față de centrul de proiecție și de pe altă parte, poziția și orientarea în spațiu a ansamblului format de centrul de proiecție și fotogramă.

Aceste elemente poartă numele de elemente de orientare a fotogramelor.

În funcție de rolul pe care îl au în fixarea poziției planului imagine, elementele de orientare se împart în:

- elemente de orientare interioară care fixează poziția planului imagine față de centrul de perspectivă;
- elemente de orientare exterioară care fixează poziția centrului de perspectivă și a planului imagine în spațiul tridimensional.

Elementele de orientare interioară

Reconstituirea obiectului din spațiul real este posibilă dacă dispunem de imaginea sa pe o fotogramă și dacă este definit fascicolul de raze care au dat naștere imaginii perspective.

Acest fascicol este definit dacă se cunoaște proiecția centrului de perspectivă O pe fotogramă, adică punctul principal H' .

Poziția punctului principal H' în sistemul de referință al fotografei este fixată prin coordonatele $x_{H'}, y_{H'} (z_{H'})$ și prin distanța principală f , care reprezintă depărtarea centrului de proiecție față de planul imagine. Distanța principală f a fotografei este chiar distanța focală a obiectivului camerei de fotografiat.

Elementele de orientare exterioară

Definirea completă a poziției în spațiul a fascicolului perspectiv se face cu ajutorul unor date suplimentare și anume elementele de orientare exterioară a fotogramei.

Soluționarea problemei implică alegerea în spațiul real a unui sistem ortogonal de referință XYZ , față de care se vor ordona toate punctele obiectelor reale.

Un corp solid în spațiu este definit prin cunoașterea a șase elemente independente care pot fi cele trei coordonate (X, Y, Z) ale unui punct oarecare și trei unghiuri independente de rotație ale corpului în jurul unui punct (Fig. 3.7).

Punctul cunoscut este tocmai centrul de proiecție O , iar direcțiile axelor pentru două raze perspective ale fascicolului vor fi date prin trei unghiuri. Centrul de proiecție O se fixează față de sistemul de referință al spațiului real și se determină prin metode topografice clasice (intersecții, drumuiri) în cazul fotogrammetriei terestre.

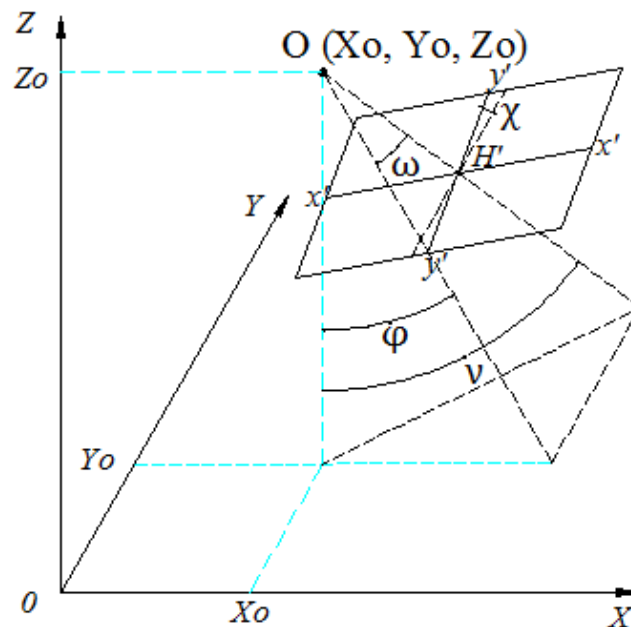


Fig. 3.7 Elementele de orientare exterioară ale fotogramei

Elementele de orientare exterioare sunt:

- X_o, Y_o, Z_o - coordonatele centrului de proiectie O ;
- φ - unghiul de înclinare longitudinală al fotogramei (pe direcția de zbor);
- ω - unghiul de înclinare transversală (perpendicular pe direcția de zbor);
- χ - unghiul de rotație al fotogramei în plan, în jurul axei sale.

Determinarea practică a elementelor de orientare exterioară se face diferențiat:

- în cazul fotogrammetriei terestre, punctul de stație fiind fix și stabil, coordonatele acestuia se determină prin metode geodezico-topografice (intersecții, drumuiri, poligonații), iar direcțiile fascicolului perspectiv se măsoară față de un punct cunoscut;

- în cazul fotogrammetriei aeriene nu sunt posibile măsurători directe, pentru determinarea elementelor de orientare exterioară decurgându-se la determinări indirecte.

În concluzie, pentru orientarea unei fotograme este necesară cunoașterea a nouă elemente:

- trei pentru orientarea interioară;
- șase pentru orientarea exterioară (trei elemente liniare și trei unghiulare).

Ecuția de bază a fotogrammetriei

Ecuțiile reprezentării perspectivei centrale stau la baza rezolvării unor probleme fundamentale în fotogrammetrie. Ele exprimă legătura dintre coordonatele spațiale: X, Y, Z ale unui punct P din spațiul real și coordonatele: x', y' (x', z') ale punctului imagine corespondent aflat pe fotogramă. Această legătură este determinată prin intermediul elementelor de orientare interioară și exterioară a fotogramelor.

Considerăm punctele imagine, dispuse în planul fotogramei, ordonate față de un sistem rectangular de axe x, y, z situat în așa fel încât axele x, y sunt conținute în planul fotogramei (F), iar axa z este paralela cu direcția principală $OH'=f$ (Fig. 3.8). În acest sistem definim mulțimea punctelor imagine.

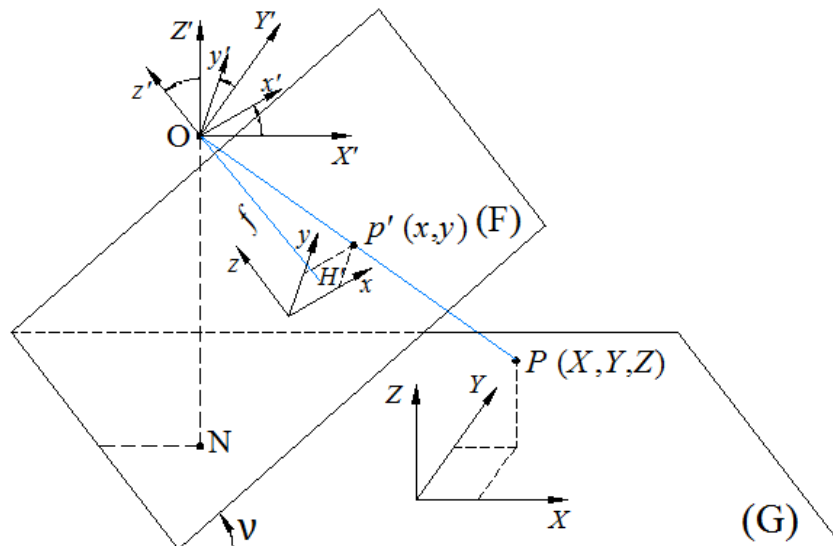


Fig. 3.8 Stabilirea legăturii dintre coordonatele din spațiul imagine și cele din spațiul real

Ordonarea spațiului real s-a făcut față de un sistem rectangular de axe de coordonate: X, Y, Z , amplasat cu axele: X, Y în planul geometralului, iar axa Z paralelă cu direcția verticală ON .

Odată stabilite aceste sisteme vom putea defini poziția oricărui punct față de sistemul său.

Se remarcă însă că legătura dintre cele două puncte (punctul real și imaginea sa din planul fotogramei) nu poate fi realizată dacă nu apelăm la elementele de orientare ale fotogramelor, întrucât cele două sisteme sunt complet diferite.

Cu ajutorul elementelor de orientare interioară și exterioară a fotogramei se poate determina forma explicită a corespondenței:

$$P(X_p, Y_p, Z_p) \rightarrow p'(x_{p'}, y_{p'}, z_{p'}) \quad (3.6)$$

dacă vom transla ambele sisteme de axe într-un același punct și acest punct să fie centrul de perspectivă O .

Prin translație sistemul X, Y, Z devine X', Y', Z' iar sistemul x, y, z devine x', y', z' . În acest moment poziția oricărui punct p_i din planul fotogramei va putea fi definită atât în sistemul x', y', z' , cât și în sistemul X', Y', Z' . Astfel punctul p' din planul (F) va avea coordonatele: $x'_{p'}$, $y'_{p'}$, $-f$ în sistemul de referință translatat al fotogramei și coordonatele: $X'_{p'}$, $Y'_{p'}$, $Z'_{p'}$ în sistemul de referință translatat al geometralului.

Relația de legătură dintre coordonatele punctului p' și cele două sisteme de coordonate, scrisă sub formă matriceală, este:

$$\begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ z'_{p'} \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ -f \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Relația reprezintă o transformare de rotație, elementele matricei de rotație R fiind reprezentate de cosinuzii directori ai unghiurilor de orientare exterioară (unghiurile dintre axele celor două sisteme). Sub formă detaliată, matricea R poate fi scrisă:

$$R = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

În fapt, matricea R este compusă din trei matrici de rotație, câte o matrice de rotație pentru fiecare din cele 3 axe ale sistemului de coordonate X', Y', Z' :

$$R = R_\varphi \cdot R_\omega \cdot R_\chi \quad (3.9)$$

Rotația R_φ se realizează în jurul axei Y' , aducând axa Z' peste axa z' și este dată de relația:

$$R_\varphi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Rezultă relațiile de legătură între coordonate:

$$X'_\varphi = x' \cos \varphi + z' \sin \varphi; \quad Y'_\varphi = y'; \quad Z'_\varphi = z' \cos \varphi - x' \sin \varphi \quad (3.11)$$

Rotația R_ω se realizează în jurul axei X' și este dată de relația:

$$R_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Rezultă următoarele relații de legătură între coordonate:

$$X'_{\omega} = x'; \quad Y'_{\omega} = y' \cos \omega - z' \sin \omega; \quad Z'_{\omega} = x' \sin \omega + y' \cos \omega \quad (3.13)$$

Rotația R_{χ} se realizează în jurul axei Z' și este dată de relația:

$$R_{\chi} = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Rezultă următoarele relații de legătură între coordonate:

$$X'_{\chi} = x' \cos \chi - y' \sin \chi; \quad Y'_{\chi} = y' \cos \chi + x' \sin \chi; \quad Z'_{\chi} = z' \quad (3.15)$$

Pe baza relațiilor rotațiilor pe cele 3 axe: R_{φ} , R_{ω} , R_{χ} , rezultă relațiile de determinare a termenilor matricei de rotație R (*cosinuzii directori*), care au forma:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos \varphi \cos \chi + \sin \chi \sin \varphi \sin \omega & a_{12} &= -\cos \varphi \sin \chi + \cos \chi \sin \varphi \sin \omega & a_{13} &= \sin \varphi \cos \omega \\ a_{21} &= \cos \omega \sin \chi & a_{22} &= \cos \omega \cos \chi & a_{23} &= -\sin \omega \\ a_{31} &= -\sin \varphi \cos \chi + \cos \varphi \sin \chi \sin \omega & a_{32} &= \sin \varphi \sin \chi + \cos \varphi \cos \chi \sin \omega & a_{33} &= \cos \varphi \sin \omega \end{aligned} \quad (3.16)$$

Întrucât sistemul de coordonate X', Y', Z' este o translație a sistemului X, Y, Z și cum punctul O are coordonatele X_0, Y_0, Z_0 în sistemul X, Y, Z , înseamnă că axele X', Y', Z' sunt:

$$X' = X - X_0; \quad Y' = Y - Y_0; \quad Z' = Z - Z_0 \quad (3.17)$$

Înlocuind aceste valori în relația de legătură (21) obținem corespondența dintre coordonatele punctului P în sistemul X, Y, Z și coordonatele punctului imagine în sistemul x', y', z' :

$$\begin{pmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x'_p \\ y'_p \\ -f \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

Relația (3.18) nu exprimă totuși legătura dintre punctul P din spațiul obiect și imaginea corespunzătoare p' din planul fotografiei. Pentru a obține această legătură trebuie să stabilim o relație caracteristică geometrică și analitică și anume coliniaritatea punctelor O, P, p' , redată analitic de relația:

$$\frac{X_P - X_0}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_0}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_0}{Z'_{p'}} = \mu \quad (3.19)$$

sau matriceal:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_O \\ Y_P - Y_O \\ Z_P - Z_O \end{pmatrix} = \mu \cdot \begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

Înlocuind în forma matriceală matricea coordonatelor $(X'_{p'}, Y'_{p'}, Z'_{p'})$ cu relația de legătură dintre coordonatele punctului p' în cele două sisteme de coordonate (3.21), obținem:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_O \\ Y_P - Y_O \\ Z_P - Z_O \end{pmatrix} = \mu \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ -f \end{pmatrix} \quad (3.22)$$

Dacă matricea R o scriem sub formă dezvoltată, atunci:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_O \\ Y_P - Y_O \\ Z_P - Z_O \end{pmatrix} = \mu \cdot \begin{pmatrix} a_{11}x'_{p'} + a_{12}y'_{p'} - a_{13}f \\ a_{21}x'_{p'} + a_{22}y'_{p'} - a_{23}f \\ a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

Relația (3.23) reprezintă ecuația de bază a perspectivei centrale și exprimă faptul că punctul P din spațiul obiect, imaginea sa p' în planul fotogramei și centrul de perspectivă O se găsesc pe aceeași rază de proiecție.

Eliminând factorul de proporționalitate μ din relația (3.23) se obțin ecuațiile care exprimă corespondența dintre coordonatele X_P, Y_P, Z_P ale punctului P din spațiul obiect și coordonatele $x'_{p'}, y'_{p'}$ ale punctului imagine p' din planul fotogramei:

$$\begin{aligned} x'_{p'} &= -f \cdot \frac{a_{11}(X_P - X_O) + a_{21}(Y_P - Y_O) + a_{31}(Z_P - Z_O)}{a_{13}(X_P - X_O) + a_{23}(Y_P - Y_O) + a_{33}(Z_P - Z_O)} \\ y'_{p'} &= -f \cdot \frac{a_{12}(X_P - X_O) + a_{22}(Y_P - Y_O) + a_{32}(Z_P - Z_O)}{a_{13}(X_P - X_O) + a_{23}(Y_P - Y_O) + a_{33}(Z_P - Z_O)} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Ecuațiile (3.24) formează un sistem de două ecuații cu două necunoscute, care va avea întotdeauna soluții unice și bine determinate. Acest lucru dovedește proprietatea perspectivei centrale de a fi o corespondență univocă, adică oricărui punct P din spațiul real îi va corespunde întotdeauna în planul imagine un singur punct imagine p' .

Abordând problema invers și eliminând din ecuația de bază a perspectivei centrale (3.23) factorul de proporționalitate μ , avem:

$$\begin{aligned} X_P - X_O &= (Z_P - Z_O) \cdot \frac{a_{11}x'_{p'} + a_{12}y'_{p'} - a_{13}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \\ Y_P - Y_O &= (Z_P - Z_O) \cdot \frac{a_{21}x'_{p'} + a_{22}y'_{p'} - a_{23}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Ecuațiile (3.25) formează un sistem de două ecuații cu trei necunoscute care nu are soluții unice și bine determinate, ceea ce înseamnă că nu pot fi determinate coordonatele:

X_P, Y_P, Z_P ale unui punct P din spațiul real pe baza coordonatelor imagine: $x'_{p'}, y'_{p'}$ ale punctului p' din planul fotografiei, adică pe baza unei singure fotografii nu poate fi reconstituit obiectul din spațiul real.

Ecuțiile (3.25) iau forme interesante pentru unele cazuri particulare.

Astfel, dacă terenul fotografiat este plan și orizontal, atunci $Z_P = 0, Z_O = h$, iar ecuațiile (3.25) au forma:

$$\begin{aligned} X_P - X_O &= -h \cdot \frac{a_{11}x'_{p'} + a_{12}y'_{p'} - a_{13}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \\ Y_P - Y_O &= -h \cdot \frac{a_{21}x'_{p'} + a_{22}y'_{p'} - a_{23}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Cele două ecuații (3.26) formează un sistem de două ecuații cu două necunoscute care va avea întotdeauna soluții unice și bine determinate.

Cazuri particulare ale sistemului de ecuații (3.26).

a. – prin translație se aduce sistemul spațial X, Y, Z pe verticala centrului de proiecție O (centrul de proiecție situat pe verticala punctului nadiral) (Fig. 3.9): $OH' = f$; $ON = h$.

În acest caz: $X_O = 0, Y_O = 0, Z_O = h$. Ecuțiile (3.26) devin:

$$\begin{aligned} X_P &= -h \cdot \frac{a_{11}x'_{p'} + a_{12}y'_{p'} - a_{13}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \\ Y_P &= -h \cdot \frac{a_{21}x'_{p'} + a_{22}y'_{p'} - a_{23}f}{a_{31}x'_{p'} + a_{32}y'_{p'} - a_{33}f} \end{aligned} \quad (3.27)$$

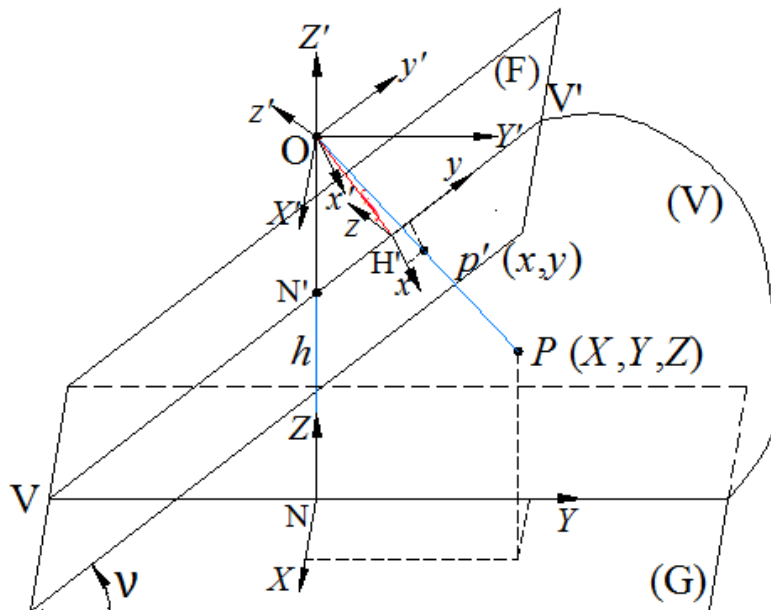


Fig. 3.9 Translația sistemului spațial X, Y, Z pe verticala centrului de proiecție O

Dacă prin rotații ale sistemelor X, Y, Z și x, y, z facem ca axele Y și y să fie conținute în planul vertical principal (V), elementele matricii de rotație R vor lua următoarele valori:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 1 & a_{12} &= 0 & a_{13} &= 0 \\ a_{21} &= 0 & a_{22} &= \cos \nu & a_{23} &= \sin \nu \\ a_{31} &= 0 & a_{32} &= -\sin \nu & a_{33} &= \cos \nu \end{aligned} \quad (3.28)$$

Ecuțiile care dau coordonatele punctului P din spațiul real au forma:

$$\begin{aligned} X_P &= h \cdot \frac{x'_{p'}}{y'_{p'} \sin \nu + f \cos \nu} \\ Y_P &= h \cdot \frac{y'_{p'} \cos \nu - f \sin \nu}{y'_{p'} \sin \nu + f \cos \nu} \end{aligned} \quad (3.29)$$

În acest caz, corespondența univocă dintre punctul P și imaginea sa p' este realizată cu patru parametri: h, f, ν și poziția punctului p' în planul fotogramei. Această corespondență reprezintă o transformare omografică.

b. – cazul fotogramei nadirale (aeriană izolată) (Fig. 3.10). În acest caz unghiul nadiral $\nu = 0$.

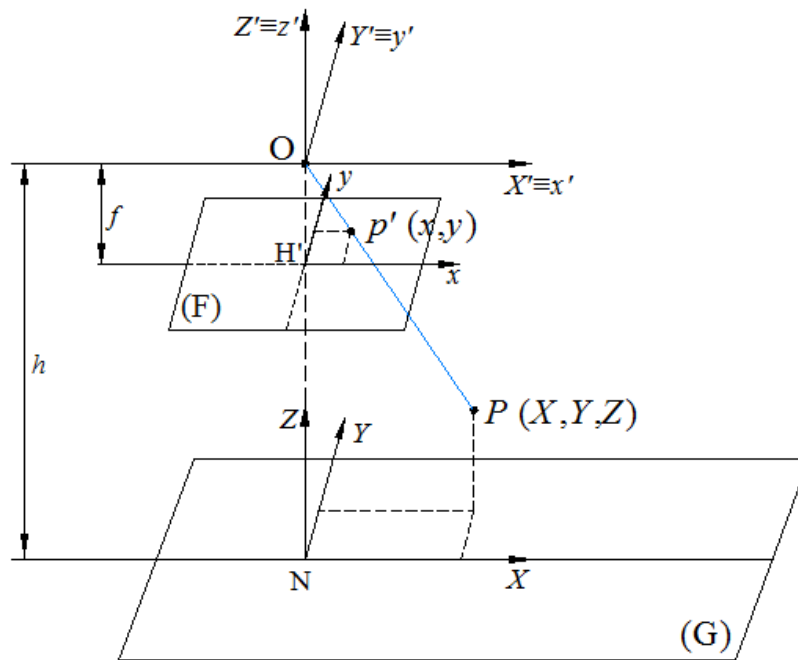


Fig. 3.10 Cazul fotogramei nadirale

Elementele matricii de rotație R sunt în acest caz:

$$\begin{aligned} a_{11} &= 1 & a_{12} &= 0 & a_{13} &= 0 \\ a_{21} &= 0 & a_{22} &= 1 & a_{23} &= 0 \\ a_{31} &= 0 & a_{32} &= 0 & a_{33} &= 1 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Coordonatele punctului P sunt date de relațiile:

$$\begin{aligned} X_P &= \frac{h \cdot x'_{p'}}{f} \\ Y_P &= \frac{h \cdot y'_{p'}}{f} \end{aligned} \quad (3.31)$$

Raportul $h/f=1/m$ – reprezintă relația dintre elementele planului imagine și cele ale planului geometralului.

c. – cazul planului vertical (fotogrammetria terestră) (Fig. 3.11). Direcția principală f este conținută împreună cu axa Y în planul vertical principal (V) și relațiile de calcul pentru coordonatele punctului P devin:

$$\begin{aligned} X_P &= \frac{d \cdot x'_{p'}}{f} \\ Y_P &= \frac{d \cdot y'_{p'}}{f} \end{aligned} \quad (3.32)$$

Relațiile stabilite în cazurile particulare prezentate permit ca, pornind de la punctele p' ale imaginii perspective, prin intermediul elementelor de orientare interioară și exterioară, să putem determina poziția punctelor corespondente din planul geometralului.

Aceste relații devin ecuațiile de bază ale perspectivei centrale prin care putem determina poziția punctelor P , aflate în geometral sau în apropierea acestuia, numai pe baza unei singure perspective centrală plană.

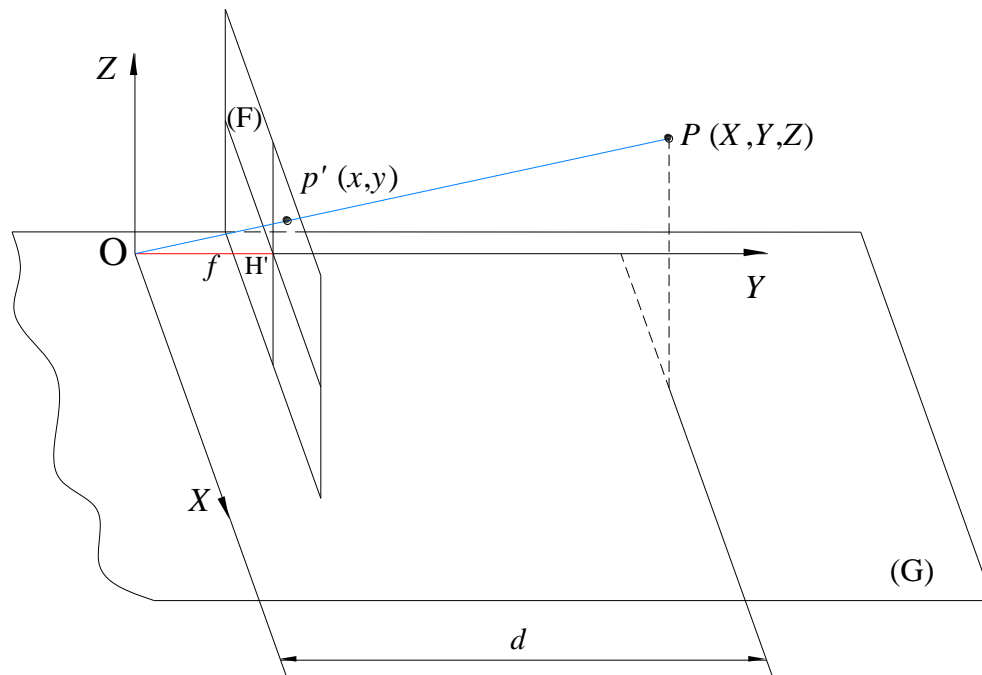


Fig. 3.11 Cazul fotogramei verticale

Scara fotografei

Considerăm direcția de fotografiere perfect verticală ($\nu = 0$), iar terenul ca fiind plan și orizontal. În acest caz scara fotografei este:

$$\frac{1}{S} = \frac{f}{h} \quad (3.33)$$

f - distanța focală a obiectivului camerei;

h - înălțimea de fotografiere (distanța de la centrul de proiecție la planul geometralului).

Pentru acest caz scara este aceeași pentru toate porțiunile fotografei.

De obicei $\nu \neq 0$. În cazul general, pentru diverse zone ale fotografei scara este diferită. Mai mult, scara este diferită chiar în același punct dar pe direcții diferite.

Scara fotografei are o valoare constantă numai pe direcția orizontalelor, iar într-un punct oarecare al fotografei este dată de relația:

$$\frac{1}{S} = \frac{f}{h} \cdot \frac{\left(\cos \nu - \frac{x_p}{f} \cdot \sin \nu \right)^2}{\sqrt{\cos^2 \delta + \left[\frac{y_p}{f} \cos \delta \cdot \sin \nu + \sin \delta \cdot \left(\cos \nu - \frac{x_p}{f} \cdot \sin \nu \right) \right]^2}} \quad (3.34)$$

x_p, y_p - coordonatele punctului imagine p în raport cu punctul H' ;

δ - unghiul format de direcția $H'p$ cu verticala principală.

Drept origine a sistemului de coordonate a fost considerat punctul H' .

Dacă direcția pe care se află punctul considerat trece prin punctul principal al fotografei atunci:

$$x_p \sin \delta = y_p \cos \delta \quad (3.35)$$

iar scara va fi dată de relația:

$$\frac{1}{S} = \frac{f}{h} \cdot \frac{\left(\cos \nu - \frac{x_p}{f} \cdot \sin \nu \right)^2}{\sqrt{1 - \sin^2 \nu \cdot \sin^2 \delta}} \quad (3.36)$$

În cazul în care $\delta = 90^\circ$ se obține relația care dă scara pe orizontală:

$$\frac{1}{S_h} = \frac{f}{h} \cdot \left(\cos \nu - \frac{x_p}{f} \sin \nu \right) \quad (3.37)$$

Dacă $\delta = 0$ și $y_p = 0$, obținem formula scării pe verticală:

$$\frac{1}{S_v} = \frac{f}{h} \cdot \left(\cos \nu - \frac{x_p}{f} \sin \nu \right)^2 \quad (3.38)$$

Înlocuind $x_p=0$ în relația scării pe orizontală (3.37), se obține scara pe orizontala principală:

$$\frac{1}{S_{hG}} = \frac{f}{h} \cdot \cos \nu \quad (3.39)$$

Dacă în relația scării pe verticală (3.38) înlocuim $x_p=0$ se obține scara pe verticala principală:

$$\frac{1}{S_{VV}} = \frac{f}{h} \cdot \cos^2 \nu \quad (3.40)$$

Pe punctul C' - izocentrul (punctul focal sau punctul deformațiilor nule):

$$x_p = -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\nu}{2} \quad (3.41)$$

scara pe orizontală care trece prin acest punct fiind dată de relația:

$$\frac{1}{S_{hC'}} = \frac{f}{h} \quad (3.42)$$

iar scara pentru verticala care trece prin punctul C' este:

$$\frac{1}{S_{VC'}} = \frac{f}{h} \quad (3.43)$$

Se observă că scările pentru orizontala, respectiv verticala care trec prin punctul focal C' sunt egale cu scara fotogramei nadirale.

Pentru punctul nadiral N' :

$$x_p = -f \cdot \operatorname{tg} \nu \quad (3.44)$$

Înlocuind valoarea lui x_p în relațiile scării pe orizontală (3.37) și a scării pe verticală (3.38) se obține formula scării pe orizontala care trece prin punctul nadiral N' al fotogramei:

$$\frac{1}{S_{hN'}} = \frac{f}{h \cdot \cos \nu} \quad (3.45)$$

și respectiv relația scării pe verticala care trece prin punctul nadiral N' :

$$\frac{1}{S_{VN'}} = \frac{f}{h \cdot \cos^2 \nu} \quad (3.46)$$

Deformații pe fotogramă

Deplasarea imaginilor punctelor din teren pe fotogramă, în altă poziție decât cea corectă, este rezultatul deformațiilor care afectează fotograma datorită următoarelor cauze:

- a. existența unor diferențe de nivel mari în cuprinsul terenului fotografiat;
- b. deformații ale materialelor fotografice;
- c. deformații cauzate de refracția atmosferică;
- d. deformații cauzate de curbura Pământului;

a. Deformații cauzate de diferențele de nivel din teren.

Un teren este considerat plan în fotogrammetrie dacă în cuprinsul său $\Delta h < 1/500 \cdot S$. Prezența unor diferențe de nivel mai mari duce la deplasarea pe fotogramă a imaginii punctelor corespunzătoare din teren.

Considerăm fotograma nadirală (Fig. 3.12).

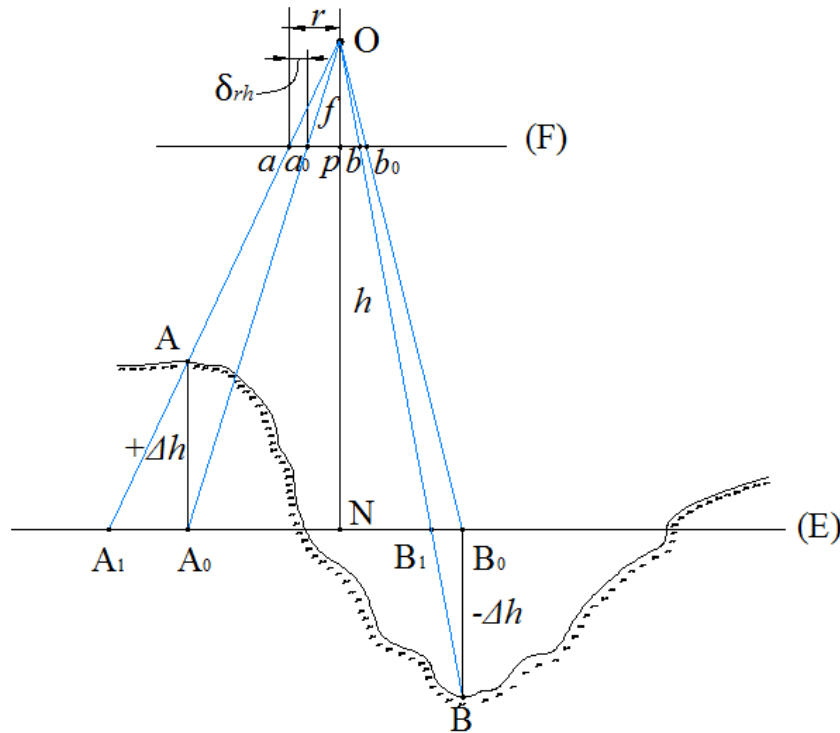


Fig. 3.12 Deformații pe fotograma cauzate de diferențele de nivel din teren

Punctului A din teren îi corespunde pe fotograma punctul a . Proiecția ortogonală a punctului A în planul de referință E va fi punctual A_0 . Segmentul a_0a de pe fotogramă corespunde erorii de poziție a punctului a cauzată de diferența de nivel $+\Delta h$.

Notăm $aa_0 = \delta_{rh}$, iar $ap = r$ (distanța radială). Triunghiurile aOp și A_1AA_0 sunt asemenea, deci putem scrie:

$$\frac{ap}{A_1A_0} = \frac{f}{\Delta h} \Rightarrow \frac{r}{A_1A_0} = \frac{f}{\Delta h} \Rightarrow A_1A_0 = \frac{r \cdot \Delta h}{f} \quad (3.47)$$

Din triunghiurile asemenea aOa_0 și A_1OA_0 rezultă:

$$\frac{aa_0}{A_1A_0} = \frac{Oa}{OA_1} \quad (3.48)$$

Din triunghiurile asemenea aOp și A_1ON rezultă:

$$\frac{Oa}{OA_1} = \frac{f}{h} \quad (3.49)$$

Din relațiile (3.48) și (3.49) și ținând seama că $aa_0 = \delta_{rh}$ rezultă:

$$\frac{\delta_{rh}}{A_1 A_0} = \frac{f}{h} \Rightarrow A_1 A_0 = \frac{\delta_{rh} \cdot h}{f} \quad (3.50)$$

Egalând expresiile (3.47) și (3.50) se obține relația de calcul a deplasării cauzată de diferența de nivel pentru cazul fotogramelor nadirale:

$$\delta_{rh} = \frac{r \cdot \Delta h}{h} \quad (3.51)$$

În cazul unei fotograme înclinate, corecția va fi dată de relația:

$$\delta_{rh} = \frac{r \cdot \Delta h}{h} \cdot \left(1 - \frac{r}{2f} \cdot \cos \varphi \cdot \sin 2\nu \right) \quad (3.51)$$

ν - unghiul de înclinare al fotogramei;

φ - unghiul polar al direcției radiale pe care se găsește punctul considerat (Fig. 3.13).

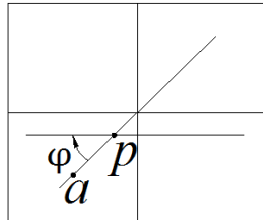


Fig. 3.13

Sensul deplasării δ_{rh} în raport cu punctul principal H depinde de poziția punctului analizat față de planul de referință (E), după cum aceasta este deasupra planului de referință ($+\Delta h$), sau dedesubtul planului de referință ($-\Delta h$).

b. Deformații cauzate de instabilitatea suportului materialelor fotografice.

Operațiile de prelucrare fotografică a suportului materialelor fotografice (developare, fixare, uscare) produc deformații (constricții) ale suportului emulsiei fotografice, fapt care conduce implicit la deplasarea punctelor pe fotogramă din poziția corectă (Fig. 3.14). Efectul constricției este similar reducerii distanței focale a camerei cu valoarea Δf .

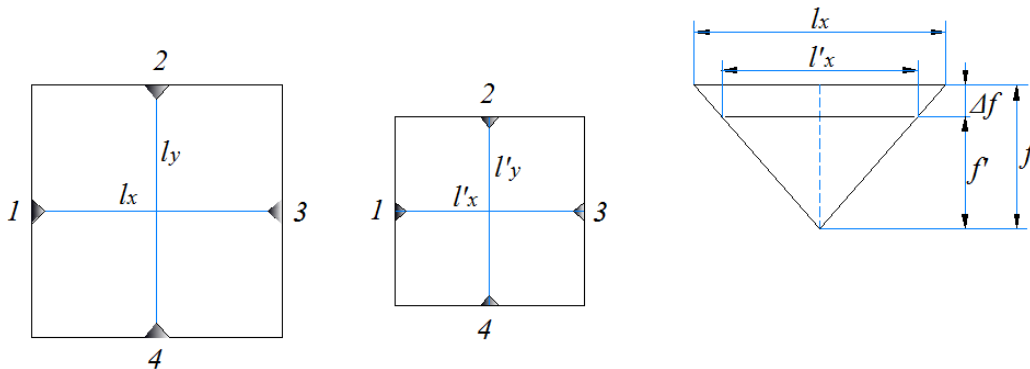


Fig. 3.14 Deformații cauzate de instabilitatea suportului materialelor fotografice

Coordonatele indicilor de referință 1, 2, 3, 4 și valorile l_x, l_y sunt date în certificatul de calibrare al camerei fotogrammetrice. Valorile l'_x, l'_y se calculează folosind coordonatele măsurate pe fotogramă la stereocomparator, pentru indicii de referință.

Pe direcția axei x putem scrie:

$$\frac{l_x}{l'_x} = \frac{f}{f'} \Rightarrow f' = f \cdot \frac{l'_x}{l_x} \quad (3.52)$$

Cum:

$$\Delta f = f - f' \quad (3.53)$$

înlocuind pe f' cu valoarea dată de expresia (3.52), obținem relațiile de calcul a deformațiilor produse de instabilitatea suportului materialelor fotografice după cele două axe:

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{f}{l_x} \cdot (l_x - l'_x) \\ \Delta f &= \frac{f}{l_y} \cdot (l_y - l'_y) \end{aligned} \quad (3.54)$$

c. Deformații cauzate de refracția atmosferică.

Razele de lumină reflectate de teren spre obiectivul camerei aeriene trec prin straturi atmosferice care au densități, temperaturi, umidități diferite, fiecare strat având alt indice de refracție. Datorită indicilor de refracție diferiți, raza de lumină se curbează (Fig. 3.15), deplasând radial spre marginea fotogramei imaginea punctului din teren.

Punctul M de pe suprafața terenului va apărea pe fotogramă în poziția m față de poziția corectă m_0 .

Coordonatele corecte ale lui m vor fi calculate cu relațiile:

$$\begin{aligned} x_i &= x'_i - \frac{\Delta r_i}{r_i} \cdot x'_i \\ y_i &= y'_i - \frac{\Delta r_i}{r_i} \cdot y'_i \end{aligned} \quad (3.55)$$

unde:

x'_i, y'_i – coordonate măsurate pe fotogramă;

c_k – constanta camerei (din fișa tehnică de etalonare/calibrare a camerei);

$r_i, \Delta r_i$ – se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} r_i &= \sqrt{x_i'^2 + y_i'^2} \\ \Delta r_i &= \left(\frac{c_k^2 + r_i^2}{c_k} \right) \cdot \Delta \alpha \cdot \frac{1}{\rho''} \end{aligned} \quad (3.56)$$

cu unghiul α determinat cu relația:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{r_i}{c_k} \quad (3.57)$$

Valoarea lui $\Delta\alpha''$ este extrasă, în funcție de valoarea unghiului α , din tabele speciale, calculate după modele atmosferice standard.

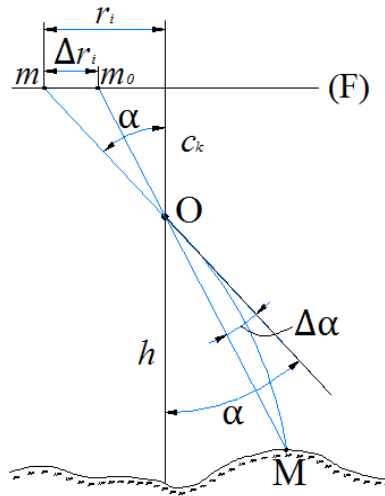


Fig. 3.15 Deformații cauzate de refracția atmosferică

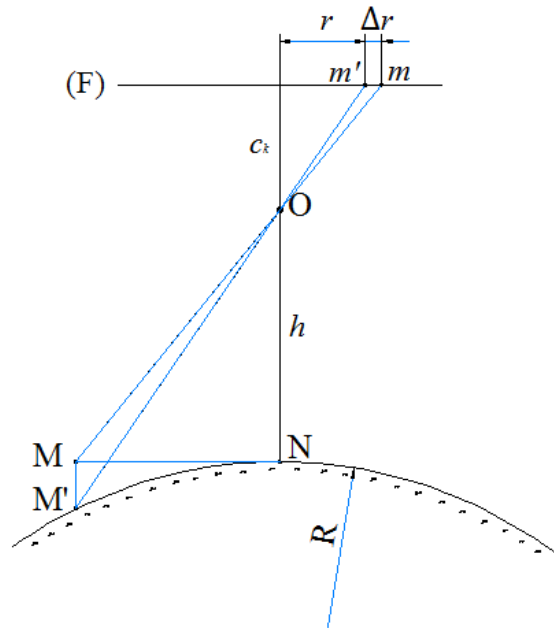


Fig. 3.16 Deformații cauzate de curbura Pământului

d. Deformații cauzate de curbura Pământului.

Această corecție se aplică atunci când se utilizează sisteme de coordonate în planul de proiecție. Influența curburii Pământului asupra imaginii pe fotogramă este prezentată în figura 3.16.

Coordonatele corectate se calculează cu relațiile:

$$\begin{aligned} x_i &= x'_i - \frac{\Delta r}{r} \cdot x'_i \\ y_i &= y'_i - \frac{\Delta r}{r} \cdot y'_i \end{aligned} \tag{3.58}$$

unde:

x'_i, y'_i – coordonate măsurate pe fotogramă;

c_k – constanta camerei (din fișa tehnică de etalonare/calibrare a camerei);

$r, \Delta r$ – se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x_i'^2 + y_i'^2} \\ \Delta r &= \frac{h \cdot r^3}{2R \cdot c_k^2} = k \cdot r^3 \end{aligned} \quad (3.59)$$

$R = 6378km$ – raza medie a Pământului.

Corecțiile pentru eliminarea influenței curburii Pământului se calculează pentru scări medii și mici, iar pentru lucrările care necesită o precizie ridicată coordonatele se corectează prin compensări polinomiale.

Capitolul 4

Stereofotogrammetria

Fenomenul vederii

În abordarea problemelor de fotogrammetrie suntem confrunțați permanent cu procesul vederii stereoscopice și cu tehnica măsurătorilor stereoscopice.

Pentru o mai bună înțelegere a acestui fenomen este necesar să se studieze fenomenul psihologic al vederii.

Simțul vederii care ne permite să cunoaștem vizual obiectele ce ne înconjoară și să apreciem calitățile lor în ceea ce privește forma, mărimea, culoarea și distanța care ne separă de ele, reprezintă un fenomen complicat.

Ca și în cazul celorlalte simțuri și în cazul percepției vizuale avem de-a face cu un proces pe scoarța cerebrală, care reprezintă suprafața de recepție pe care se proiectează excitațiile venite din mediul extern și intern. Cea mai bună percepere vizuală se realizează într-un unghi solid de circa 1° , asociat ariei ocupate pe retina de către pata galbenă (macula – Fig. 4.1). Câmpul vizual al ochiului este considerabil, întinzându-se lateral 100° de partea opusă nasului și 50° de partea nasului. Pe direcția verticală câmpul vizual acoperă 130° .

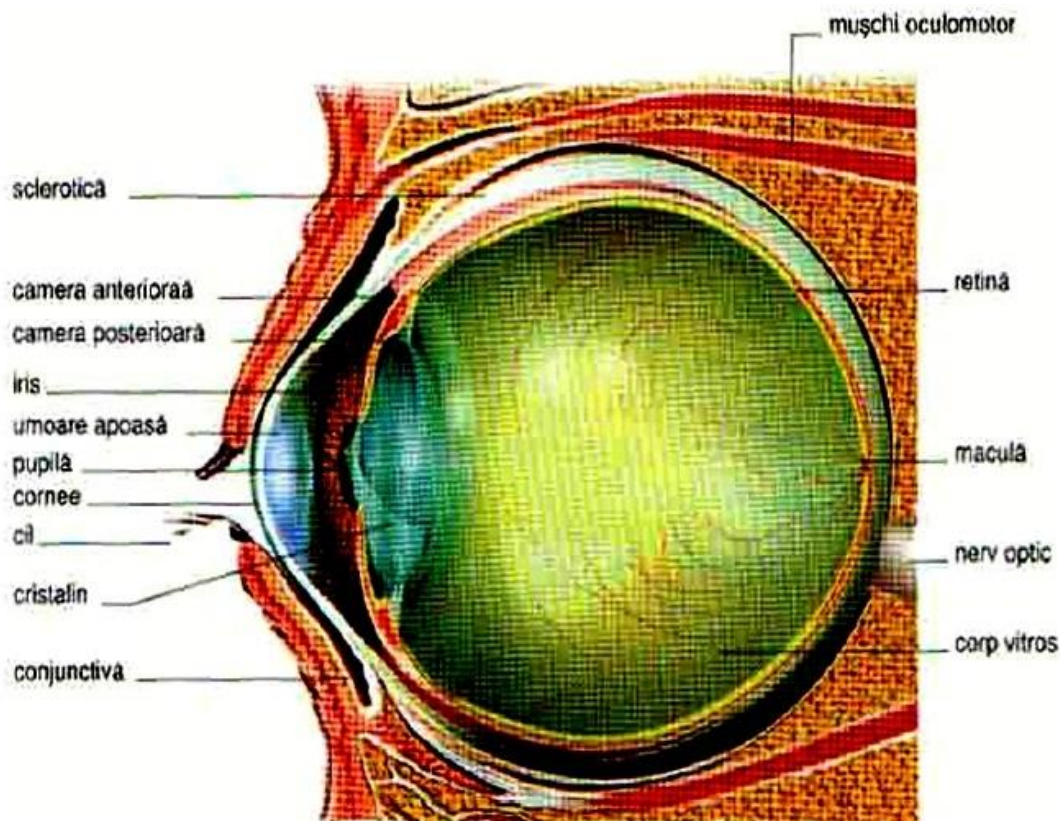


Fig. 4.1 Ochiul uman – secțiune (sursa – B. Ștefănescu, Tehnici moderne de generare a mediilor virtuale prin sinteză grafică asistată de calculator)

Datorită descreșterii foarte rapidă a percepției vizuale în afara direcției de observare, reiese că aproape totalitatea câmpului vizual este utilizată numai pentru ceea ce se numește vedere indirectă.

Pentru problemele cu care suntem confrunțați în fotogrammetrie, folosim numai vederea clară, care are loc pe centrul petei galbene și la care concură în mod deosebit capacitatea de acomodare a cristalinului.

Datorită ariei foarte mici pe care o ocupă pe retina, pata galbenă poate fi asimilată unui plan și ca urmare putem considera și imaginea perspectivă a obiectelor ce se formează pe retina, tot ca o perspectivă plană.

Pentru un ochi normal în repaus, retina coincide cu planul focal imagine; ochiul vede clar și fără oboseală obiectele îndepărtate, mănunchiul paralel pornit de la un punct M de la infinit este transformat în ochi într-un mănunchi care converge în punctul M' de pe retina (Fig 4.2).

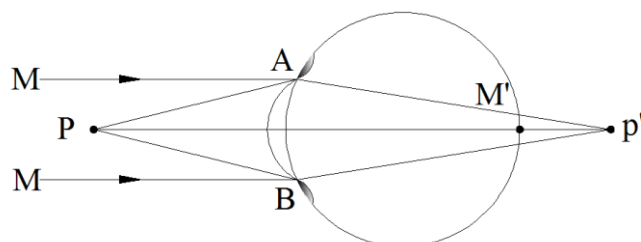


Fig. 4.2 Formarea imaginii pe retina

Dacă ochiul rămâne în aceeași poziție, un punct P situat la distanță finită își va forma imaginea într-un punct p' în spatele retinei; cu cât punctul P va fi mai aproape de ochi, cu atât imaginea se va forma mai departe de retina, iar imaginea lui va fi vagă.

Pentru ca imaginea să redevină clară trebuie ca punctul p' să fie readus pe retina, prin modificarea razei de curbură a cristalinului sub efectul contracției mușchilor ciliari, fenomen numit acomodare.

Grație fenomenului de acomodare, ochiul normal are o vedere clară între infinit și o distanță minimă, variabilă.

Prin urmare, ochiul normal vede clar între o distanță maximă D_{max} și o distanță minimă D_{min} . Diferența între aceste distanțe se numește amplitudinea acomodăției și se exprimă în dioptrii.

Mecanismul vederii

Imaginea reală a luminii exterioare este formată de ochi pe retina. Radiațiile luminoase sosind pe retina provoacă reacții fotochimice care descompun substanțele pe retina; aceste reacții la rândul lor provoacă excitarea celulelor nervoase care emit un flux nervos ce este transmis la creier prin intermediul nervului optic.

Senzațiile primite sunt interpretate de creier, ceea ce produce în conștiința noastră lume exterioară, informându-ne despre formele, dimensiunile, culorile obiectelor observate.

Ochiul are posibilitatea de a se roti în orbita sa până când pe fovea se formează imaginea punctului pe care vrem să-l observăm; imaginea se formează invers pe retină, dar creierul face să percepem imaginea dreaptă (directă).

După cum am văzut, câmpul vederii clare este limitat de diametrul petei galbene, fiind foarte redus; totuși ochiul rămânând imobil permite vederea punctelor situate într-un câmp mai întins, dar această vedere este mai puțin clară și se numește, așa după cum am arătat, vedere indirectă.

Mobilitatea ridicată a ochiului, rapiditatea mișcărilor și transmițerii la creier, persistența impresiunilor luminoase permit însă mărirea considerabilă a câmpului vederii clare.

Între ochiul uman și obiectivul fotografic grand-angular există o diferență esențială și anume:

obiectivul fotografic furnizează imagini de aceeași calitate atât în centrul clișeului cât și la marginile acestuia, dar acest lucru produce dificultăți de realizare, în timp ce ochiul uman furnizează imagini clare doar într-un punct - fovea, dar acest fapt nu reprezintă un inconvenient întrucât ochiul poate fi mișcat până când observă clar imaginea obiectului.

Acuitatea vizuală

Acuitatea vizuală reprezintă aptitudinea ochiului de a distinge cele mai mici detalii ale obiectului și se exprimă prin unghiul sub care este văzut.

Unghiul sub care este văzut cel mai mic detaliu perceput depinde de următorii factori: forma detaliului, luminozitatea fondului pe care el este proiectat, contrastul detaliului în raport cu fondul, diametrul pupilei, finețea elementelor retinei, etc.

Vederea monoculară

Percepția spațială rezultă numai cu ajutorul vederii binoculare. Totuși ea poate fi realizată și cu un singur ochi cu ajutorul unor parametri indirecti, cum ar fi:

- vederea sub diametre aparente diferite a obiectelor de aceleași dimensiuni;
- umbrele purtate de obiecte unele peste altele;
- acoperirea parțială a unui obiect de către altul;
- aberațiile cromatice ale ochiului care provoacă imagini colorate pe margini interpretate de creier ca senzații mai mult sau mai puțin depărtate.

Vederea binoculară naturală

Un observator vede concomitent în mod analog cu ambii ochi (când ochii sunt normali). Când un observator fixează un obiect, fiecare ochi fixează fiecare detaliu al obiectului, pe fovea fiecărui ochi formându-se o imagine a obiectului; cele două imagini sunt sensibil identice.

Creierul percepe însă doar o singură imagine. Aceasta se explică prin faptul că atunci când cele două imagini se formează în două puncte sau zone corespondente pe cele două retine, există o legătură între cele două fibre ce transmit fluxul luminos la creier, ceea ce face ca obiectul observat să fie simplu raționat.

Fenomenul de percepere a unui obiect singular constituie fuziunea binoculară.

Relația convergență - acomodare

Pentru a observa un punct oarecare din spațiu, mușchii fiecărui ochi vor roti globul ocular în așa fel încât drepte de fixare OsA (din ochiul stâng) și OdA (din ochiul drept) să se întâlnească în punctul A ; cele două drepte formează unghiul γ , numit unghi de convergență.

Considerând unghiul γ foarte mic, putem scrie relația:

$$\gamma'' = \rho'' \cdot \frac{b_0}{y} \quad (4.1)$$

ρ'' - coeficient de transformare a unghiurilor măsurate din radiani în secunde sexazecimale: $\rho'' = 206265$ ($\rho^{cc} = 636620$);

b_0 - baza oculară = distanța interpupilară dintre cei doi ochi; pentru un adult baza oculară are în medie valoarea de 64-65mm;

y - depărtarea la care se află punctul A față de ochi.

Așadar unei anumite depărtări y îi corespunde un unghi de convergență γ bine determinat. Pe de altă parte, depărtarea y corespunde unei curburi a cristalinului determinată sub influența mușchilor ciliari.

Aptitudinea de a lucra simultan și de a realiza pentru fiecare distanță un stadiu de contracție a mușchilor ciliari bine determinat, asigură relația dintre convergență și acomodare.

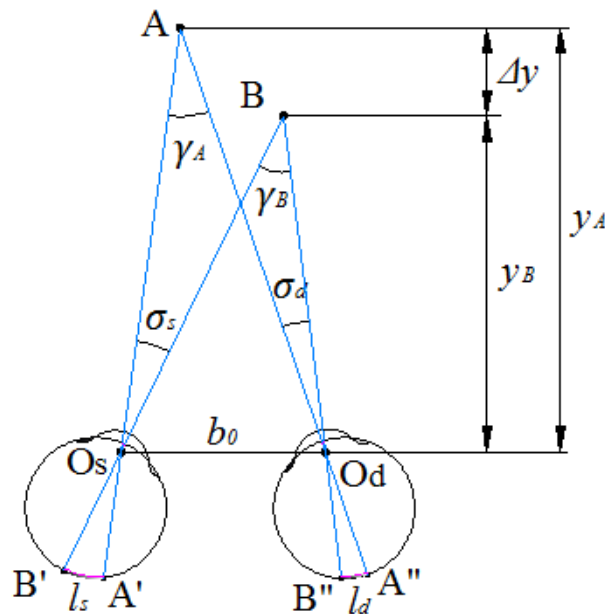


Fig. 4.3 Percepția binoculară

Mecanismul percepției binoculare naturale în relief

Când un observator privește un punct A cu ambii ochi, pe retinele celor doi ochi în punctele determinate de fovea centralis se formează imaginile A' și A'' , iar axele vizuale ale ochilor se intersectează în punctul A sub unghiul de convergență γ_A (Fig. 4.3).

Fie un alt punct B a cărui imagini retiniene sunt B' și B'' , axele vizuale intersectându-se în punctul B sub unghiul de convergență γ_B .

Mărimea unghiului de convergență γ , după cum am văzut, depinde de distanța la care se găsește punctul observat față de ochi și anume cu cât punctul se găsește mai aproape de ochi cu atât γ este mai mare, iar când punctul este la infinit γ este nul.

Creierul interpretează micile deosebiri între imaginile retiniene și le traduce ca diferențe de depărtări între punctele examinate.

Simpla fuziune binoculară asupra unui ansamblu de puncte ale unui obiect situat la o distanță cunoscută față de observator ne furnizează date certe asupra acestei distanțe. Dacă observatorul își concentrează atenția asupra detaliilor, el percepe cu o mare sensibilitate variația depărtărilor în jurul acestui punct.

Vederea binoculară a reliefului este deci o senzație diferențială ce ne permite să apreciem cu o mare sensibilitate inegalitatea depărtării între două puncte.

Considerăm cele două puncte vecine A și B care sunt văzute sub unghiurile de convergență γ_A și γ_B din baza oculară $O_s O_d = b_0$ (Fig. 40). Diferența dintre unghiurile de convergență γ_A și γ_B o numim paralaxa atereoscopică și o notăm:

$$P_s = \gamma_A - \gamma_B \quad (4.2)$$

Notând cu σ_s și σ_d unghiurile sub care se vede segmentul AB din punctele O_s și O_d se observă că:

$$\gamma_A + \sigma_s = \gamma_B + \sigma_d \quad (4.3)$$

de unde rezultă că:

$$P_s = \gamma_A - \gamma_B = \sigma_d - \sigma_s \quad (4.4)$$

Diferența $\sigma_d - \sigma_s$ este tocmai diferența segmentelor $l_d = A''B''$ și $l_s = A'B'$, care produce senzația de relief în jurul punctului A , adică diferența de depărtare dy , numită profunzime.

În figura 4.3 observăm că diferența de depărtare este:

$$\Delta y = y_A - y_B \quad (4.5)$$

Știm că:

$$\gamma'' = \rho'' \cdot \frac{b_0}{y}, \text{ sau } \gamma^{cc} = \rho^{cc} \cdot \frac{b_0}{y} \quad (4.6)$$

Prin diferențiere:

$$d\gamma = -\frac{b_0}{y^2} \cdot dy \quad (4.7)$$

Cum:

$$\begin{aligned} d\gamma &= \gamma_B - \gamma_A = -d\sigma = -(\sigma_d - \sigma_s) \\ \gamma_B - \gamma_A &= -p_s \end{aligned} \quad (4.8)$$

rezultă că:

$$p_s = \frac{b_0}{y^2} \cdot dy \quad (4.9)$$

Din relația (4.9) se observă că existența paralaxei stereoscopice duce implicit la variația depărtării între diferitele puncte ale obiectului. Observatorul efectuând mental fuziunea binoculară realizează percepția stereoscopică vizuală a spațiului cu trei dimensiuni.

Cercetând permanent detaliile pe care le are în față, observatorul ajunge să perceapă diferențe foarte mici, atât lateral cât și în profunzime.

Acuitatea vizuală stereoscopică

Acuitatea vizuală stereoscopică este cea mai unică valoare a paralaxei stereoscopice pentru care un observator indică cu certitudine sensul unei diferențe de depărtare. Este variabilă de la observator la observator și poate fi îmbunătățită prin antrenament. Acuitatea vizuală stereoscopică este mai bună decât acuitatea vizuală a fiecărui ochi. Prin experiențe s-a văzut că un foarte bun observator percepe o diferență de depărtare între două puncte *A* și *B* când paralaxa stereoscopică este egală sau mai mare de 30^{cc}.

Cum, în general $b_0 = 64^{\pm} 65\text{mm}$, pentru $p_s = 30^{\text{cc}}$ se determină dy pentru următoarele valori ale depărtării y :

$$\begin{aligned} y = 100m & \quad dy = \frac{y^2 \cdot p_s^{\text{cc}}}{b_0 \cdot \rho^{\text{cc}}} = \frac{100^2 \cdot 30}{0.065 \cdot 636620} \cong 8m \\ y = 10m & \quad dy = \frac{y^2 \cdot p_s^{\text{cc}}}{b_0 \cdot \rho^{\text{cc}}} = \frac{10^2 \cdot 30}{0.065 \cdot 636620} \cong 8cm \\ y = 1m & \quad dy = \frac{y^2 \cdot p_s^{\text{cc}}}{b_0 \cdot \rho^{\text{cc}}} = \frac{1^2 \cdot 30}{0.065 \cdot 636620} \cong 8mm \end{aligned} \quad (4.10)$$

Dacă paradoxa stereoscopică este mai mică de 30^{cc}, observatorul nu percepe diferența de depărtare, iar dacă depărtarea y este mai mare, astfel încât paradoxa stereoscopică să aibă valoarea mai mică de 30^{cc}, atunci percepția stereoscopică încetează. Această distanță limită este de aproximativ 1300m și se numește raza vederii binoculare normale.

Pentru majoritatea indivizilor și în condiții medii, cifrele anterioare se împart la doi, ceea ce corespunde la o paralaxa stereoscopică minimă de 50^{cc} 60^{cc} și o rază a vederii binoculare de 600m.

Pe de altă parte percepția stereoscopică poate fi deosebit de fină, ajungându-se – pentru obiecte aflate la o depărtare de 0,25m, la 0,1mm.

Pentru un fotogrammetrist se cere nu numai să fie dotat cu vedere binoculară ci și cu o calitate deosebită a percepției stereoscopice.

Vederea stereoscopică artificială

În situația în care fiecare ochi privește în mod separat câte o imagine perspectivă plană a obiectului din spațiul real, cele două imagini fiind obținute din două puncte de vedere diferite, se realizează o vedere stereoscopică artificială.

Considerăm un obiect format din punctele A, B, C, \dots și fasciculele perspective relative a acestui obiect, ale căror varfuri sunt ochii O_s și O_d ai unui observator.

Secționând fasciculele cu un plan tablou vertical și paralel cu direcția $O_s O_d$, notat cu π , se obțin în planul π două figuri perspective: a_1, b_1, c_1, \dots și a_2, b_2, c_2, \dots (Fig. 4.4).

Aceste perspective fiind înregistrate în planul π și considerând că fiecare ochi observă numai perspective care îi corespunde, din punct de vedere geometric condițiile de observare nu au fost schimbate cu nimic, creierul recepționând punctual A la intersecția dreptelor $O_s a_1$ și $O_d a_2$, deoarece punctele A_1' și A_2'' sunt întotdeauna corespondente pe cele două retine.

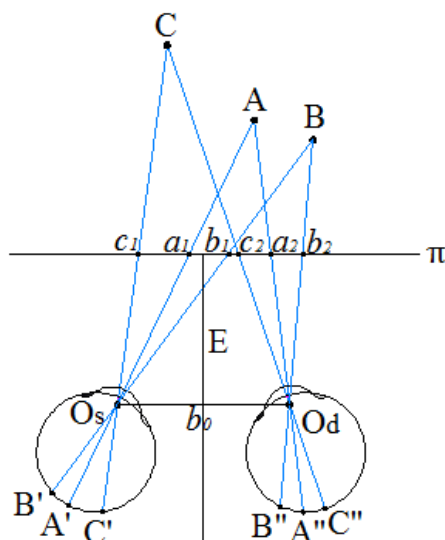


Fig. 4.4 Vederea stereoscopică artificială

Elementul esențial al vederii stereoscopice artificiale este reprezentat de procesul mental de a percepe stereoscopic cu toate că observatorul privește două imagini plane. Mulțimea punctelor astfel percepute spațial formează modelul stereoscopic, iar cele două imagini plane cu ajutorul cărora putem realiza modelul stereoscopic poartă numele de cuplu stereoscopic.

Condițiile vederii stereoscopice

Pentru a obține un model stereoscopic este necesar ca perspectivele centrale să fie oferite ochilor observatorului în următoarele condiții:

- fotografiile (imaginile perspective) să fie realizate din două puncte de vedere diferite și să înregistreze același obiect din spațiul real;

- fiecare fotogramă să fie observată separat cu câte un ochi, adică fotograma din punctual stâng să fie observată cu ochiul stâng, iar fotograma înregistrată în punctual drept să fie observată cu ochiul drept;
- direcțiile de observare ale celor doi ochi către punctele corespondente ale celor două fotograme trebuie să se găsească în același plan;
- pentru o valoarea dată a unghiului de convergență trebuie să se asigure o acomodare corespunzătoare a ochiului.

Realizarea modelului stereoscopic nu implică reconstituirea cu fidelitate a formei și dimensiunilor obiectului real.

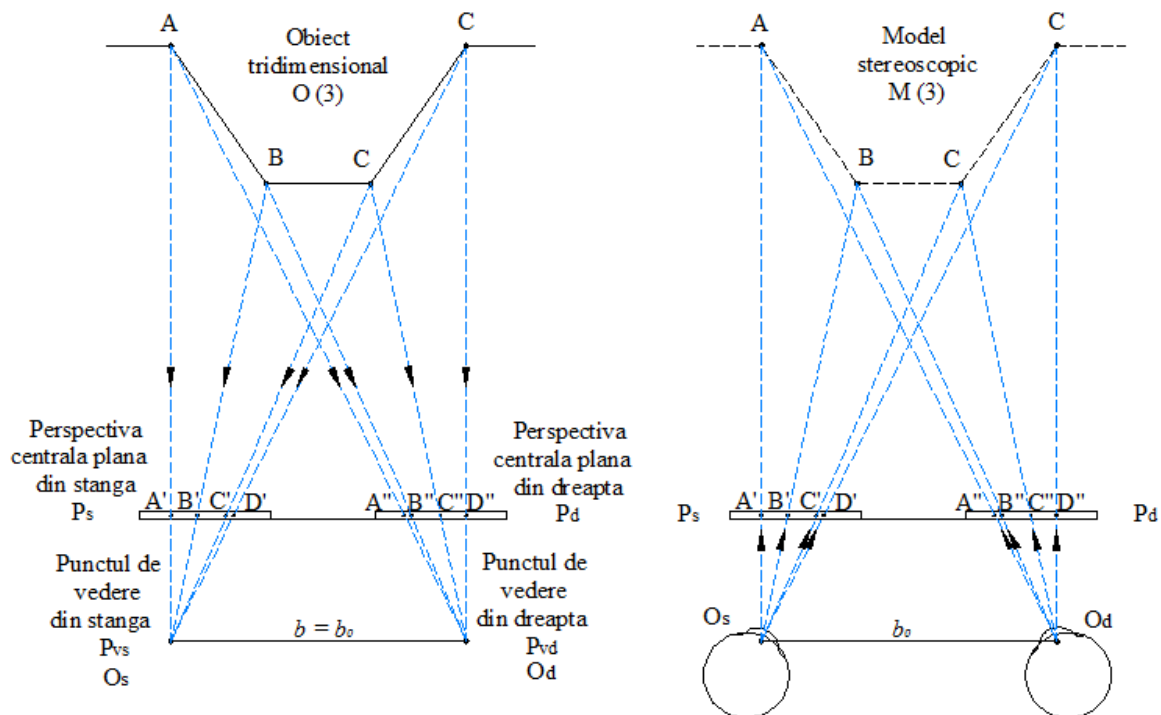


Fig. 4.5 Obținerea modelului stereoscopic nedeformat

Întrucât reconstituirea fidelă a obiectului și cunoașterea cu exactitate a deformării lui prezintă un interes deosebit în fotogrammetrie este necesar să cunoaștem condițiile de formare fidelă a modelului stereoscopic:

- lungimea bazei oculare folosită la observarea modelului stereoscopic trebuie să fie egală cu distanța dintre punctele de vedere de unde au fost realizate perspectivele centrale;
- distanța principală a fotogramelor să fie aceeași cu distanța focală a instrumentului de observare stereoscopică;
- convergența fasciculelor de raze care au servit la realizarea perspectivei centrale plane trebuie să fie identică cu cea a fasciculelor de raze care servesc la observarea modelului stereoscopic;
- orientarea fasciculelor de raze care au servit la realizarea perspectivei centrale trebuie să coincidă cu orientarea fasciculelor de raze care servesc la orientarea modelului stereoscopic.

Atunci când aceste condiții sunt integral îndeplinite modelul stereoscopic reconstituie fidel forma obiectului tridimensional din realitate, adică se obține un model stereoscopic nedeformat (Fig. 44.5). Neîndeplinirea integrală a condițiilor amintite duce la apariția de deformări pe modelul stereoscopic.

Observarea stereoscopică

Modelul stereoscopic se obține utilizând cuplurile stereoscopice (două fotograme ce îndeplinesc condițiile vederii stereoscopice). Modelul spațial se formează în imaginația individului, la intersecția razelor vizuale ale ochilor care trec prin punctele imagine omoloage de pe cele două imagini ale stereogramei. Obținerea modelului stereoscopic prin vederea stereoscopică indirectă este dificilă și rareori imposibilă.

Pentru mărirea capacității vederii stereoscopice, au fost elaborate mai multe principii care au la bază obținerea efectului stereoscopic după imaginile fotografice ale obiectului respectiv.

a. Principiul *stereoscopului*

Privirea separată a celor două fotograme se poate realiza cu ajutorul instrumentului numit *stereoscop*. Acesta face ca fiecărui ochi să-i parvină doar imaginea corespunzătoare lui, asigurând fuziunea celor două imagini și deci obținerea modelului spațial.

O fuziune perfectă apare numai prin mărirea capacității vizuale a ochilor cu ajutorul unor sisteme optice. Stereoscoapele au sistemul optic astfel realizat încât să permită obținerea condițiilor vederii stereoscopice, adică separarea imaginilor și orientarea reciprocă a acestora.

Pentru obținerea modelului stereoscopic cuplul stereoscopic trebuie orientat față de baza de observație. În cazul fotogramelor terestre, orientarea rezultă prin poziționarea axelor xx față de baza de observație.

Din punct de vedere constructiv există *stereoscoape cu lentile* și *stereoscoape cu prisme* sau *cu oglinzi*. Prin combinarea acestor tipuri de bază au fost obținute diferite tipuri de stereoscoape folosite în fotogrammetrie.

a.1. Stereoscopul cu lentile (stereoscopul de buzunar)

Este cel mai simplu instrument stereoscopic (Fig. 4.6, 4.7), fiind format dintr-o ramă suport în care sunt montate două lentile convergente L_s și L_d , dispuse cu centrul lor optic la o distanță egală cu distanța interpupilară medie $b_o = 65\text{mm}$. Instrumentul are dimensiuni mici, este ușor manevrabil, însă poate fi utilizat numai la descifrarea stereogramelor de dimensiuni mici.

a.2. Stereoscopul cu oglinzi

Este alcătuit dintr-un suport prevăzut cu patru picioare demontabile (Fig. 4.8), pe suport fiind montate o pereche de oglinzi înclinate la 45° față de planșeta pe care este plasată stereograma. Două prisme cu reflexie totală sau două oglinzi înclinate tot la 45° preiau razele de lumină de la prima pereche de oglinzi și le trimit spre ochi. În acest fel este mărit câmpul visual, permițând observarea stereoscopică de format mare.

Stereoscopul cu oglinzi, însoțit de un instrument de măsurare, poate fi utilizat la măsurarea stereoscopică, sau la construcția altor aparate de stereorestituție.

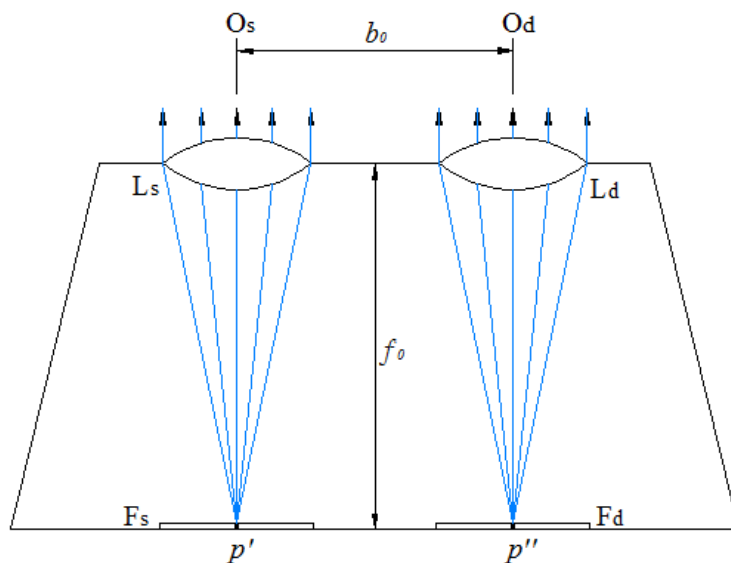


Fig. 4.6 Stereoscopul cu lentile – principiul constructiv



Fig. 4.7. Stereoscop cu lentile (sursa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>)

b. Principiul anaglifului

Procedeul se bazează pe culorile complementare și constă în reducerea celor două perspective centrare a căror puncte principale sunt suprapuse pe același suport de hârtie, ele fiind colorate în două culori complementare, în general roșu și albastru-verde.

Stereograma astfel obținută este observată cu ajutorul ochelarilor prevăzuți cu filtre colorate în aceleași culori complementare.

Efectul stereoscopic se obține atunci când ochiul stâng vede imaginile colorate în roșu prin filtru albastru-verde, iar ochiul drept vede imaginile colorate în albastru-verde prin filtru roșu. Se realizează astfel separarea imaginilor de pe stereogramă, fiecare ochi percepând în negru numai o imagine, aceea destinată lui.

Se remarcă faptul că în procedeul culorilor complementare nu mai este necesară separarea efectivă a perspectivelor, întrucât operația de separare este realizată de către filtrele prin care privește observatorul, ordinea filtrelor trebuind păstrată corespunzător.

Principiul anaglifului este avantajos prin economicitatea cu care se pot obține efectele stereoscopice în comparație cu alte procedee, dar prezintă dezavantajul obținerii unui model stereoscopic neclar și obosirea ochilor.



Fig. 4.8. Stereoscopul cu oglinzi

(sursa: <https://www.sciencedirect.com/topics/veterinary-science-and-veterinary-medicine/stereoscope>)

c. Principiul *polarimetrului* (a luminii polarizate)

Lumina polarizată se obține din lumina naturală prin reflexie sub anumite unghiuri, sau prin trecerea prin anumite cristale.

Lumina naturală se propagă prin oscilații electromagnetice transversale în toate planele. Lumina polarizată corespunde unei radiații electromagnetice în care oscilația are loc într-o aceeași direcție perpendiculară pe direcția razei.

Lumina se polarizează dacă trece prin niște cristale polarizatoare. Dacă în calea unei raze de lumină polarizată se așează un cristal identic cu cel ce a dat lumina polarizată și dacă acesta se rotește în jurul razei, se observă că intensitatea luminoasă a razei slăbește și se reduce cu totul când unghiul este egal cu 90° . Primul cristal se numește polarizer, iar al doilea se numește analizor.

Dacă ambele imagini ale unei stereograme se proiectează pe un ecran cu lumină polarizată în plane perpendiculare între ele și dacă imaginile astfel proiectate se privesc cu ochelari prevăzuți cu analizori așezați de asemenea la 90° , dar paraleli cu polarizorii corespunzători, se obține efectul stereoscopic deoarece fiecărui ochi îi parvine o singură imagine, cea de la fotograma destinată lui.

Procedeul permite folosirea imaginilor în culori și vizionarea în colectiv, dar calitatea modelului stereoscopic obținut nu este corespunzătoare pentru utilizarea în fotogrammetrie.

d. Principiul brilamentului sau al alternanței imaginilor

Procedeul asigură separarea imaginilor prin proiectarea lor succesivă pe un ecran. Observarea se face printr-un dispozitiv de obturare succesivă a celor doi ochi în sincronism cu proiectarea fotogramelor. Frecvența succesiunii de proiectare trebuie să fie de 15 secunde.

Acest procedeu asigură o bună separare a imaginilor și deci un efect stereoscopic corect, însă construcția este incomodă.

Măsurarea stereoscopică

Pe modelul stereoscopic realizat prin observarea stereoscopică a celor două imagini care alcătuiesc stereograma se pot efectua măsurători în vederea obținerii formei și dimensiunilor obiectului real.

Fotogramele care alcătuiesc stereograma se deosebesc una de cealaltă prin paralaxa stereoscopică care este cauzată de diferențele de profunzime dintre cele două perspective conjugate.

Prin măsurarea stereoscopică se completează observația stereoscopică, aspectul calitativ al modelului fiind completat cu cel metric.

Pentru măsurarea stereoscopică se utilizează marca reper mobilă.

Mărcile pot fi reale, sub forma unui reper unic deplasabil spațial planimetric și nivelitic, sau percepută spațial ca o marcă virtuală. Sunt plasate în traseul optic al razelor provenite de la cele două fotograme care alcătuiesc stereograma și se pot materializa prin gravarea pe oglinzi, pe dioptrii plane, sau prin proiectie.

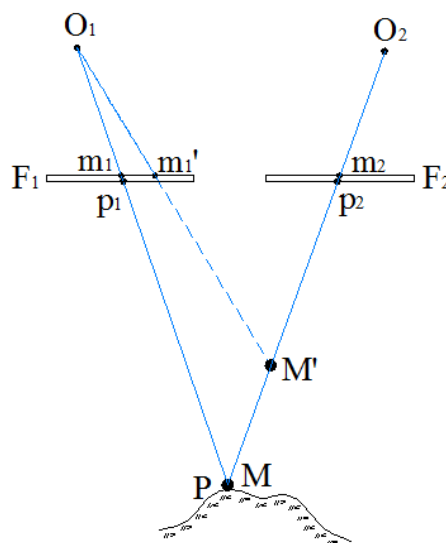


Fig. 4.9 Măsurarea stereoscopică

Precizia de măsurare stereoscopică este foarte ridicată (0,005mm) și depinde în principal de acuitatea stereoscopică a operatorului și de modul de iluminare a celor două fotograme. Iluminarea inegală înrăutățește condițiile de măsurare întrucât ochiul care primește imaginea mai puțin luminată realizează percepția mai târziu. Din acest motiv se indică să se realizeze fotografierea din cele două puncte de stație în aceleași condiții de iluminare a obiectivului real.

Legarea celor două mărci parțiale la un dispozitiv de citire sau desenare corespunzător formează cel mai simplu instrument de restituție stereoscopică care are posibilitatea definirii coordonatelor modelului prin intermediul coordonatelor fotogrammetrice sau a paralaxelor măsurate.

Așezând cele două fotograme în conformitate cu condițiile vederii stereoscopice (Fig. 4.9) avem posibilitatea măsurării stereoscopice:

a. prin deplasarea mărcilor parțiale asupra punctelor omoloage corespunzătoare de pe cele două fotograme ale cuplului stereoscopic;

b. prin deplasarea fotogramelor asupra mărcilor reper parțiale. Valoarea paralaxei stereoscopice se poate măsura în ambele cazuri, fiind dată de diferența absciselor pe cele două imagini F_1 și F_2 .

În primul caz modelul rămâne fix, iar marca reper mobilă se deplasează convenabil pe diversele puncte ale stereomodelului.

În cel de-al doilea caz marca spațială rămâne pe loc, iar diferitele puncte ale stereomodelului sunt aduse peste marca spațială reper, prin deplasarea convențională a fotogramelor. Această ultimă posibilitate face posibilă reprezentarea continuă a modelului prin izolinii sau curbe de nivel, lucru ce reprezintă un avantaj incontestabil al măsurării fotogrammetrice.

Aparate de măsurare stereoscopică

a. *Stereomicrometrul* este cel mai simplu instrument care permite măsurarea paralaxelor stereoscopice sau a diferitelor distanțe și ajută la desenarea unor elemente planimetrice și la trasarea curbilor de nivel după modelul stereoscopic.

Este compus din următoarele părți (Fig. 4.10):

- o tijă telescopică gradată (bara de paralaxă), prevăzută cu un șurub micrometric cu scală gradată din 0,05 în 0,05 mm;
- două suporturi pentru plăcuțele pe care sunt gravate mărcile reper parțiale ce se suprapun peste punctele omoloage ale stereogramei și care formează marca spațială;
- un dispozitiv creion cu care se descrie drumul mărcii spațiale în timpul măsurării.

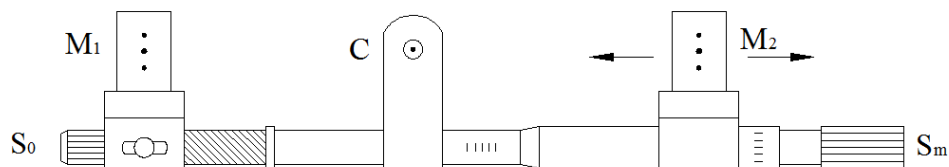


Fig. 4.10 Stereomicrometrul

Stereomicrometrul se folosește numai cu stereoscopul cu oglindă, permițând măsurarea prin citire directă cu o precizie de 0,05 mm și de 0,02 mm prin estimare.

b. *Stereocomparatorul* este un aparat simplu și precis destinat măsurării coordonatelor imagine și paralaxelor (longitudinală și transversală) (Fig. 4.11). Valorile măsurate sunt folosite pentru determinarea coordonatelor imagine în sistemul fiecărei fotograme. Pe baza acestora se calculează, prin procedee analitice, coordonatele teren. La stereocomparator se formează un model local în jurul punctului ale cărui coordonate trebuie măsurate. Sistemul de observare asigură transmiterea imaginii la ochii operatorului, mărinđ imaginea de opt ori.

Coordonatele și paralaxele pot fi citite fiecare pe niște tambure gradate, cu precizia de 0,02 mm pentru coordonate și de 0,005 mm pentru paralaxe. Formatul maxim al fotogramelor pe care se pot face măsurători cu stereocomparatorul este de 18x 18 cm, stereocomparatorul fiind folosit în general în fotogrammetria terestră.

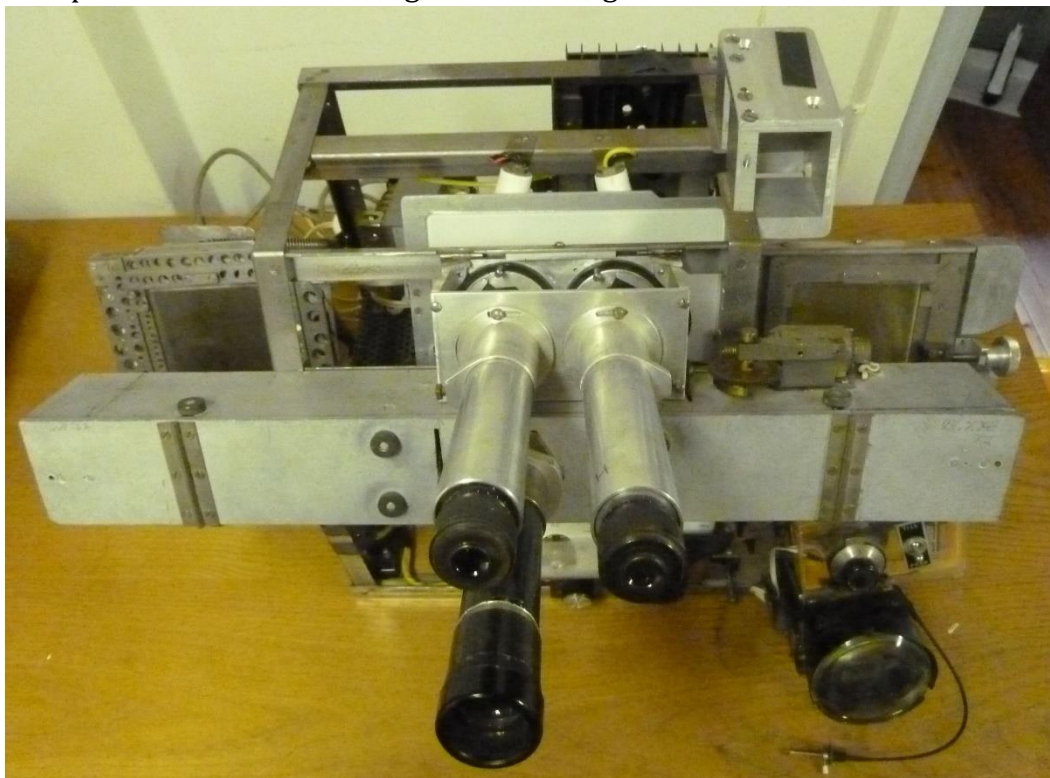


Fig. 4.11 Stereocomparatorul

(sursa: <https://amatorastronomi.wordpress.com/2013/05/22/lennart-dahlmarks-stereokomparator/>)

c. *Stecometrul* este un stereocomparator de precizie cuplat cu un dispozitiv de măsurare și înregistrare automată a coordonatelor și paralaxelor (Fig. 4.12).

Permite utilizarea unor fotograme cu formatul maxim de 23 x 23 cm și, prin schimbarea ocularelor, asigură măririi de 6x, 12x și 18x.

Coordonatele și paralaxele măsurate sunt transmise automat la un dispozitiv de înregistrare automată și afișate pe ecranul unui monitor. Precizia de citire este de 0,002 mm.

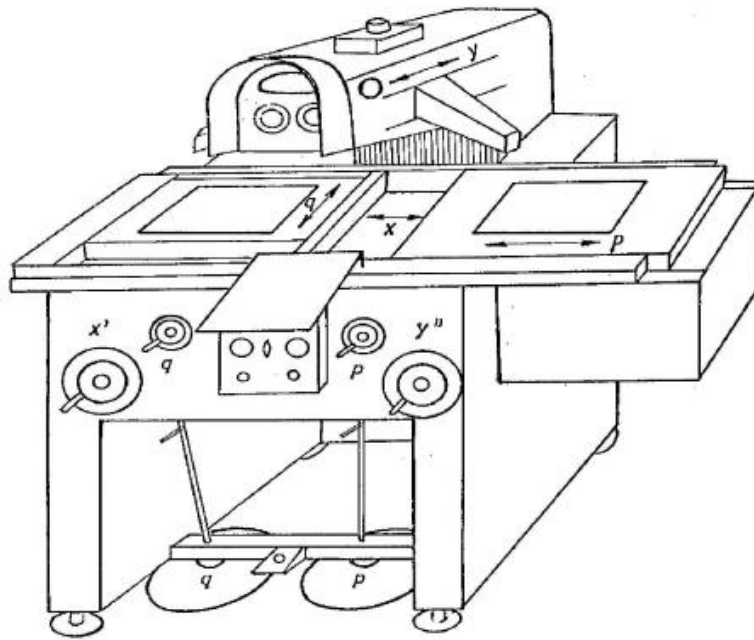


Fig. 4.12 Stecometrul Jena
(sursa: Gabriel Popescu, Fotogrammetrie analitică – Anul II FIFIM, 2010)

Ecuția de bază a stereofotogrammetriei

În fotogrammetria stereoscopică se folosesc două perspective centrale plane diferite (F') și (F''), pe ambele perspective fiind reprezentat însă unul și același element P din spațiul obiect.

Determinarea punctelor P_i din spațiul obiect se realizează prin intersecție fotogrammetrică din punctele de stație O' și O'' , puncte ale căror poziții în spațiu sunt determinate prin elementele de orientare interioară și exterioară ale fotografiilor.

Deducerea pe cale analitică a coordonatelor punctelor din spațiul obiect pornește de la considerarea unui sistem spațial tridimensional X, Y, Z față de care ordonăm toate punctele din spațiul obiect, punctele celor două perspective fiind ordonate față de sistemele tridimensionale rectangulare x_1, y_1, z_1 , respectiv x_2, y_2, z_2 (Fig. 4.13).

Odată stabilite sistemele de referință vom putea defini poziția fiecărui punct față de sistemul de care este ordonat, putând defini și elementele de orientare interioară și exterioară ale celor două fotograme.

Se remarcă însă că, punctele fiind ordonate în sisteme de referință diferite, nu se poate realiza o corespondență între punctele spațiului obiect și cele de pe perspectivele centrale plane ce conțin imaginea aceluiași punct P din spațiul obiect.

Pentru a rezolva această corespondență, se translatează sistemul de coordonate X, Y, Z din spațiul obiect și sistemul x_1, y_1, z_1 al perspective centrale (F') în punctul O' și respectiv sistemul X, Y, Z din spațiul obiect și sistemul x_2, y_2, z_2 al perspective centrale (F'') în punctul O'' . Vom putea astfel să exprimăm coordonatele punctelor p' și p'' față de sistemul rectangular spațial traslatat X', Y', Z' , respectiv X'', Y'', Z'' .

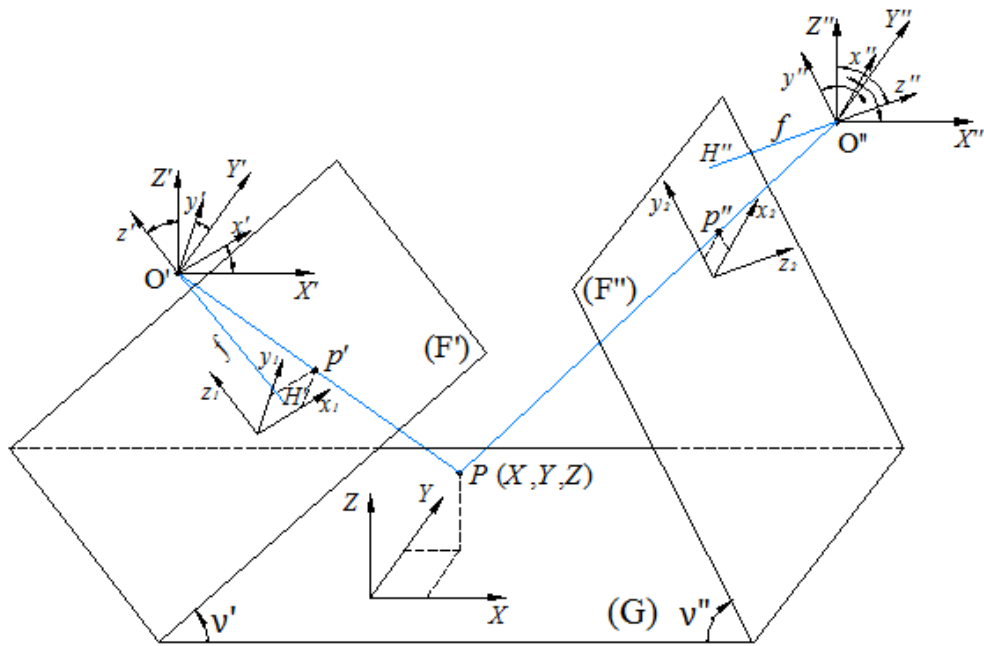


Fig. 4.13 Stabilirea legăturii dintre coordonatele imagine de pe stereogramă și cele din spațiul real

- pentru punctul p' din planul fotogramei (F'):

$$\begin{pmatrix} X'_p \\ Y'_p \\ Z'_p \end{pmatrix} = R' \cdot \begin{pmatrix} x'_p \\ y'_p \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

- pentru punctul p'' din planul fotogramei (F''):

$$\begin{pmatrix} X''_p \\ Y''_p \\ Z''_p \end{pmatrix} = R'' \cdot \begin{pmatrix} x''_p \\ y''_p \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

Relațiile (4.11), (4.12) reprezintă transformări de rotație, iar elementele matricilor R' și R'' sunt în funcție de unghiurile de orientare exterioară, exprimate prin parametrii directori ai unghiurilor dintre axele celor două sisteme de coordonate (imagine și real).

$$R' = \begin{pmatrix} a'_1 & a'_2 & a'_3 \\ b'_1 & b'_2 & b'_3 \\ c'_1 & c'_2 & c'_3 \end{pmatrix} \quad R'' = \begin{pmatrix} a''_1 & a''_2 & a''_3 \\ b''_1 & b''_2 & b''_3 \\ c''_1 & c''_2 & c''_3 \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

Coordonatele centrelor de perspectivă O' și O'' față de sistemul X, Y, Z sunt $X_{O'}$, $Y_{O'}$, $Z_{O'}$, respectiv $X_{O''}$, $Y_{O''}$, $Z_{O''}$.

Măsura segmentului $O'O''$, pe care îl notăm cu b , va fi:

$$O'O'' = b = \sqrt{(X_{O''} - X_{O'})^2 + (Y_{O''} - Y_{O'})^2 + (Z_{O''} - Z_{O'})^2} \quad (4.14)$$

Segmentul $O'O'' = b$ este tocmai baza fotogrammetrică, ale cărei componente, în sistemul X, Y, Z sunt:

$$b_X = X_{O''} - X_{O'} \quad b_Y = Y_{O''} - Y_{O'} \quad b_Z = Z_{O''} - Z_{O'} \quad (4.15)$$

Sistemele X', Y', Z' și X'', Y'', Z'' fiind translații ale sistemului X, Y, Z , se pot exprima relațiile:

$$X' = X - X_{O'} \quad Y' = Y - Y_{O'} \quad Z' = Z - Z_{O'} \quad (4.16)$$

respectiv:

$$X'' = X - X_{O''} \quad Y'' = Y - Y_{O''} \quad Z'' = Z - Z_{O''} \quad (4.17)$$

Aplicăm relațiile (4.16), (4.17) în ecuațiile (4.11), respectiv (4.12), care exprimă coordonatele punctelor p' și p'' în sistemul spațial traslatat X', Y', Z' , respectiv X'', Y'', Z'' și obținem:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_{O'} \\ Y_P - Y_{O'} \\ Z_P - Z_{O'} \end{pmatrix} = R' \cdot \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ -f \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} X_P - X_{O''} \\ Y_P - Y_{O''} \\ Z_P - Z_{O''} \end{pmatrix} = R'' \cdot \begin{pmatrix} x''_{p''} \\ y''_{p''} \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.18)$$

Aceste relații nu exprimă complet corespondența dintre punctul P din spațiul obiect și imaginile corespunzătoare pe cele două perspective centrale. Pentru a exprima complet această legătură ținem seamă că punctele $Pp'O'$ și respectiv $Pp''O''$ sunt coliniare, coliniaritate exprimată analitic prin relațiile:

$$\frac{X_P - X_{O'}}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_{O'}}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_{O'}}{Z'_{p'}} = \mu' \quad \frac{X_P - X_{O''}}{X''_{p''}} = \frac{Y_P - Y_{O''}}{Y''_{p''}} = \frac{Z_P - Z_{O''}}{Z''_{p''}} = \mu'' \quad (4.19)$$

Sub formă matriceală relațiile (4.19) se scriu:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_{O'} \\ Y_P - Y_{O'} \\ Z_P - Z_{O'} \end{pmatrix} = \mu' \cdot \begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} X_P - X_{O''} \\ Y_P - Y_{O''} \\ Z_P - Z_{O''} \end{pmatrix} = \mu'' \cdot \begin{pmatrix} X''_{p''} \\ Y''_{p''} \\ Z''_{p''} \end{pmatrix} \quad (4.20)$$

Dacă ținem seama de relațiile (4.15) prin care sunt exprimate componentele bazei fotogrammetrice b în sistemul X, Y, Z , atunci:

$$\begin{pmatrix} X_P - X_{O'} \\ Y_P - Y_{O'} \\ Z_P - Z_{O'} \end{pmatrix} = \mu' \cdot \begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_X \\ b_Y \\ b_Z \end{pmatrix} + \mu'' \cdot \begin{pmatrix} X''_{p''} \\ Y''_{p''} \\ Z''_{p''} \end{pmatrix} \quad (4.21)$$

de unde rezultă:

$$\mu' = \frac{Z''_{p''} \cdot b_X - X''_{p''} \cdot b_Z}{Z''_{p''} \cdot X'_{p'} - X''_{p''} \cdot Z'_{p'}} \quad (4.22)$$

Înlocuind expresia lui μ' în relația (4.21) și având în vedere relația (4.18) prin care se exprimă coordonatele punctelor imagine față de sistemul spațial traslatat X', Y', Z' , obținem:

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{O'} \\ Y_{O'} \\ Z_{O'} \end{pmatrix} + \frac{Z_{p''} \cdot b_X - X_{p''} \cdot b_Z}{Z_{p''} \cdot X'_{p'} - X_{p''} \cdot Z'_{p'}} \cdot R' \cdot \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

Relația (4.23) reprezintă ecuația de bază a stereofotogrammetriei și și exprimă integral problema corespondenței între coordonatele X, Y, Z ale unui punct P din spațiul obiect și coordonatele punctelor imagine p' și p'' din cele două perspective centrale (F') și (F'').

Condițiile de aplicare a ecuației de bază a stereofotogrammetriei.

Pentru deducerea ecuației de bază a stereofotogrammetriei s-a folosit ca premiză esențială faptul că punctele P, p', O' și P, p'', O'' sunt coliniare. Întrucât punctul P face parte din ambele grupe de puncte coliniare, înseamnă că dreptele $Pp'O'$ și $Pp''O''$ sunt concurente în punctul P , așa după cum se vede în figura 4.13.

Fiind concurente în punctul P cele două drepte determină un plan (N) care are proprietatea deosebită de a conține atât punctul P din spațiul obiect cât și imaginile p' și p'' ale punctului P pe cele două fotograme. Planul (N) se numește *plan nuclear*.

Dreptele $Pp'O'$ și $Pp''O''$ se numesc *raze omoloage* sau *raze corespondente* ale cuplului stereoscopic.

Centrele de proiecție O' și O'' sunt și ele puncte ale celor două drepte, care au în spațiu o poziție bine determinată. Punctele O' și O'' determină baza fotogrammetrică, care va fi o dreaptă definită în spațiul obiect.

Baza $O'O'' = b$ împreună cu punctul P din spațiu obiect determină un plan.

Deoarece punctul P a fost un punct curent al spațiului obiect, rezultă un fascicul de plane nucleale ce vor fi determinate de baza fotogrammetrică b și punctul curent P_i din spațiul obiect.

Determinarea univocă a planului nuclear (N) este condiționată de cunoașterea poziției punctului P din spațiul obiect.

În concluzie putem spune că, într-un cuplu stereoscopic (F'), (F''), razele omoloage $Pp'O'$ și $Pp''O''$ trebuie să fie conținute în planul nuclear determinat de baza fotogrammetrică b și poziția punctului P din spațiului obiect. Acestea reprezintă condiția necesară și suficientă a stereoscopiei.

În cazul în care condiția necesară și suficientă a stereoscopiei este îndeplinită, corespunde între punctul P și punctele imagine omoloage p' și p'' este biunivocă și se exprimă prin relația:

$$P(X, Y, Z) \Leftrightarrow [p'(x', y', -f); p''(x'', y'', -f)] \quad (4.24)$$

Sensul:

$$P(X, Y, Z) \Rightarrow [p'(x', y', -f); p''(x'', y'', -f)] \quad (4.25)$$

reprezintă procesul de realizare a celor două perspective centrale plane (F') și (F''). Astfel, dacă elementele de orientare interioară și exterioară au fost precizate și dacă printr-un procedeu oarecare putem materializa razele omoloage conținute în planul nuclear (N), atunci urmele acestor raze pe planele (F') și (F'') vor fi chiar imaginile punctelor omoloage p' și p'' .

Sensul:

$$P(X, Y, Z) \Leftarrow [p'(x', y', -f); p''(x'', y'', -f)] \quad (4.26)$$

reprezintă procesul de reconstituire a poziției punctului P din spațiul obiect prin intermediul cuplului stereoscopic (F'), (F''). Astfel, dacă cele două perspective centrale plane (F') și (F'') sunt materializate printr-un procedeu oarecare și elementele de orientare interioară și exterioară sunt riguros refăcute, atunci valorile coordonatelor X, Y, Z care definesc poziția punctului P în spațiul obiect sunt date de ecuația de bază a stereofotogrammetriei (4.23).

Există situații când perechea de puncte aflate în perspectivele centrale (F') și (F'') nu este perechea de puncte omoloage a cuplului stereoscopic. Și prin aceste puncte se pot duce raze de proiecție ca prin oricare alte puncte din planele (F') și (F''), dar razele respective nu mai sunt conținute într-un același plan nuclear și deci ele nu vor putea fi concurente în niciun punct din spațiul obiect. În această situație condiția necesară și suficientă a stereoscopiei nu poate fi îndeplinită, deoarece în spațiul obiect nu se va afla un singur punct de concurență a razelor omoloage, ci două puncte distincte P_1 și P_2 . Drept urmare sensul de corespondență de la cuplul stereoscopic (F') și (F'') către spațiul obiect nu se mai poate realiza, iar ecuația de bază a stereofotogrammetriei nu se mai poate aplica.

Razele omoloage pot să nu se intersecteze și în cazul în care poziția punctelor imagine p' și p'' în planele (F') și (F'') este corectă, dar elementele de orientare interioară și exterioară ale fotogramelor nu au fost corect refăcute.

Cum poziția punctului p'' este cea corespunzătoare fostei matrice de rotație R'' și fostelor coordonate ale centrului de perspectivă $O''(X_{O''}, Y_{O''}, Z_{O''})$ nemodificate, înseamnă că razele omoloage $O'p'$ și $O''p''$ nu mai sunt cuprinse în același plan nuclear, deci aceste raze nu se mai intersectează în spațiu, iar ecuația de bază a stereofotogrammetriei nu poate fi aplicată.

Din cele prezentate se poate constata că ecuația de bază a stereofotogrammetriei rezolvă integral problema relației între coordonatele X, Y, Z ale unui punct P din spațiul obiect și coordonatele punctelor p', p'' din cele două perspective plane (F') și (F''), dar această rezolvare este condiționată de îndeplinirea prealabilă a condiției necesare și suficiente a stereoscopiei ca razele de proiecție să fie cuprinse în același plan nuclear.

Parametrii ecuației de bază a stereofotogrammetriei

Pentru a vedea care sunt parametrii ecuației de bază a stereofotogrammetriei pornim de la această ecuație (4.23), scrisă sub forma:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{O'} \\ Y_{O'} \\ Z_{O'} \end{pmatrix} + \frac{Z'' \cdot b_x - X'' \cdot b_z}{Z'' \cdot X' - X'' \cdot Z'} \cdot R' \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.23')$$

Observăm că parametrii care intră în această ecuație se prezintă sub diverse forme. Astfel, numai coordonatele centrului de perspectivă O' și elementele matricei R' apar sub formă explicită. Elementele matricei R'' apar prin parametrii X'' , Z'' folosiți însă într-o expresie mai complicată, iar coordonatele centrului de perspectivă O'' apar prin intermediul componentelor b_x și b_z ale bazei fotogrammetrice. De asemenea, deși coordonatele x'' , y'' ale punctului imagine p'' au fost folosite la deducerea ecuației de bază, ele nu apar explicit în relația finală.

Sub această formă a ecuației este greu să se vadă care sunt parametrii independenți care intră în ecuația de bază, precum și care este numărul lor. Prin parametrii independenți înțelegem acele elemente a căror valoare rămâne invariabilă față de coordonatele punctelor p' și p'' din planele (F') și (F'') .

Aceste elemente invariabile sunt: pozițiile centrelor de perspectivă O' și O'' - cu baza fotogrammetrică definită de aceste centre și poziția planelor (F') și (F'') atât față de baza fotogrammetrică cât și față de spațiul obiect, întrucât numai aceste elemente rămân prin definiție invariabile față de orice pereche de puncte omoloage p' și p'' .

Poziția centrelor de perspectivă față de spațiul obiect sunt definite prin coordonatele spațiale ale acestora și anume: $X_{O'}, Y_{O'}, Z_{O'}$ și $X_{O''}, Y_{O''}, Z_{O''}$. Poziția fotogramelor față de centrele de perspectivă este dată de distanța focală f , iar față de baza fotogrammetrică și spațiul obiect prin elementele matricelor de rotație R' și R'' ; cum matricele R' și R'' reprezintă niște rotații în spațiu, nu toate cele nouă elemente conținute în fiecare matrice sunt elemente independente.

Așadar poziția planelor imagine (F') și (F'') va fi definită de elementele de orientare interioară și exterioară ω' , φ' , χ' , ω'' , φ'' , χ'' . Punând în evidență acești parametri independenți, ecuația de bază, care de fapt reprezintă o transformare, va putea fi exprimată în modul cel mai general sub forma:

$$P(X, Y, Z) = (X_{O'}, Y_{O'}, Z_{O'}; X_{O''}, Y_{O''}, Z_{O''}; \omega', \varphi', \chi'; \omega'', \varphi'', \chi''; f; x', y'; x'', y'') \quad (4.27)$$

Se observă că sub această formă, rezolvarea corespondenței între punctele omoloage p' și p'' ale cuplului stereoscopic și punctul corespondent din spațiul obiect constituie, atât pentru tratări teoretice cât și pentru soluții practice, o dificultate serioasă.

Din acest motiv s-a căutat să se aducă problema generală în proximitatea cazurilor particulare, unde se pot rezolva cu relații mult simplificate sau cu relații aproximative acceptabile din punct de vedere tehnic. Pentru cazurile cele mai întânite forma ecuației se simplifică foarte mult.

Cazuri particulare în fotogrammetria aeriană

Cazul perspectivelor nadirale

În cazul perspectivelor nadirale ambele plane imagine (F') și (F'') sunt paralele cu planul geometralului, deci orizontale și în consecință direcțiile principale $O'H'$ și $O''H''$ sunt verticale și paralele între ele (Fig. 4.14).

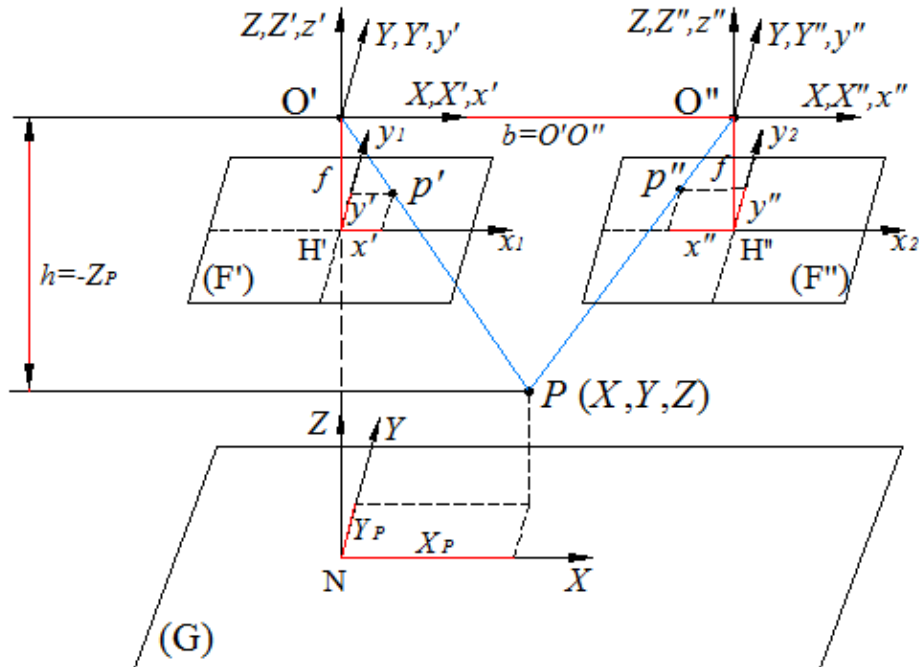


Fig. 4.14 Cazul perspectivelor nadirale

Considerăm mai întâi baza fotogrammetrică orizontală și orientată în lungul axei X a sistemului fotogrammetric X, Y, Z .

În acest fel perspectivele centrale (F') și (F'') devin coplanare, direcțiile principale $O'H'$ și $O''H''$ sunt verticale și perpendiculare pe baza fotogrammetrică b , iar componentele bazei vor fi:

$$b_x = b \quad b_y = b_z = 0 \quad (4.28)$$

Plasăm apoi originea sistemului fotogrammetric în centrul de perspectivă O' . Prin această translatare coordonatele centrului de perspectivă O' devin:

$$X_{O'} = Y_{O'} = Z_{O'} = 0 \quad (4.29)$$

Mai considerăm sistemele x', y', z' și x'', y'', z'' ca având axele paralele cu sistemul fotogrammetric X, Y, Z , iar distanța verticală dintre punctul P și planul orizontal care trece prin centrul de perspectivă O' o notăm cu :

$$h = -Z_p \quad (4.30)$$

Ținând seama de cele enunțate mai sus și de faptul că în perspectivele nadirale:

$$Z'_{p'} = Z''_{p''} = -f \quad (4.31)$$

ecuația de bază a stereoscopiei va avea pentru acest caz forma:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ -h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{-f \cdot b_x - 0}{-f \cdot x_{p'}' + f \cdot x_{p''}''} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{p'}' \\ y_{p'}' \\ -f \end{pmatrix} \quad (4.32)$$

Din această ecuație pot fi deduse fiecare din coordonatele punctului P din spațiul obiect în cazul perspectivelor nadirale:

$$\begin{aligned} X &= b_x \cdot \frac{x_{p'}'}{x_{p'}' - x_{p''}''} \\ Y &= b_x \cdot \frac{y_{p'}'}{x_{p'}' - x_{p''}''} \\ Z = -h &= b_x \cdot \frac{-f}{x_{p'}' - x_{p''}''} \end{aligned} \quad (4.33)$$

În acest caz b_x este tocmai lungimea bazei b , iar diferența absciselor $x' - x''$ reprezintă tocmai diferența de imagine a punctelor p' și p'' de pe perspectivele centrale corespunzătoare punctului P din spațiul obiect, diferență pe care o notăm cu p și o numim paralaxa stereoscopică.

Ecuațiile de mai sus devin foarte simple și anume:

$$X = b \cdot \frac{x'}{p} \quad Y = b \cdot \frac{y'}{p} \quad Z = -h = b \cdot \frac{-f}{p} \quad (4.34)$$

Analizând aceste ecuații se constată că baza b este o constantă pentru un cuplu stereoscopic, valoarea fiecăreia din coordonatele X și Y depinzând de paralaxa stereoscopică p și de valorile coordonatelor fotogrammetrice x' , y' . Cum pentru perspectiva dată distanța focală f este constantă, valoarea coordonatului Z depinde numai de paralaxa p .

Se observă că paralaxa stereoscopică p are o importanță deosebită în determinarea coordonatelor spațiale X , Y , Z , fiind elementul care asigură legătura între cele două perspective centrale (F') și (F'').

Practic cazul perspectivelor nadirale se întâlnește mai rar sub formă riguroasă, însă sub formă aproximativă se întâlnește foarte des.

Cazuri particulare în fotogrammetria terestră

a. Cazul normal

În fotogrammetria terestră este foarte des folosită varianta când cele două perspective centrale sunt verticale, perpendiculare pe planul geometralului, cu baza fotogrammetrică dispusă orizontal. Direcțiile principale $O'H'$ și $O''H''$ sunt perpendiculare pe bază și situate într-un plan orizontal (Fig. 4.15).

Considerăm aceleași particularizări ca și în cazul perspectivelor nadirale, diferența constând în felul cum sunt orientate perspectivele față de sistemul de axe X , Y , Z , care, ca și în cazul nadiral, are originea în centrul de perspectivă O' . În cazul normal al fotogrammetriei terestre perspectivele sunt orientate în așa fel încât axa X este în lungul

bazei fotogrammetrice, axa Y este perpendiculară pe planul (F') iar axa Z este paralelă cu acest plan.

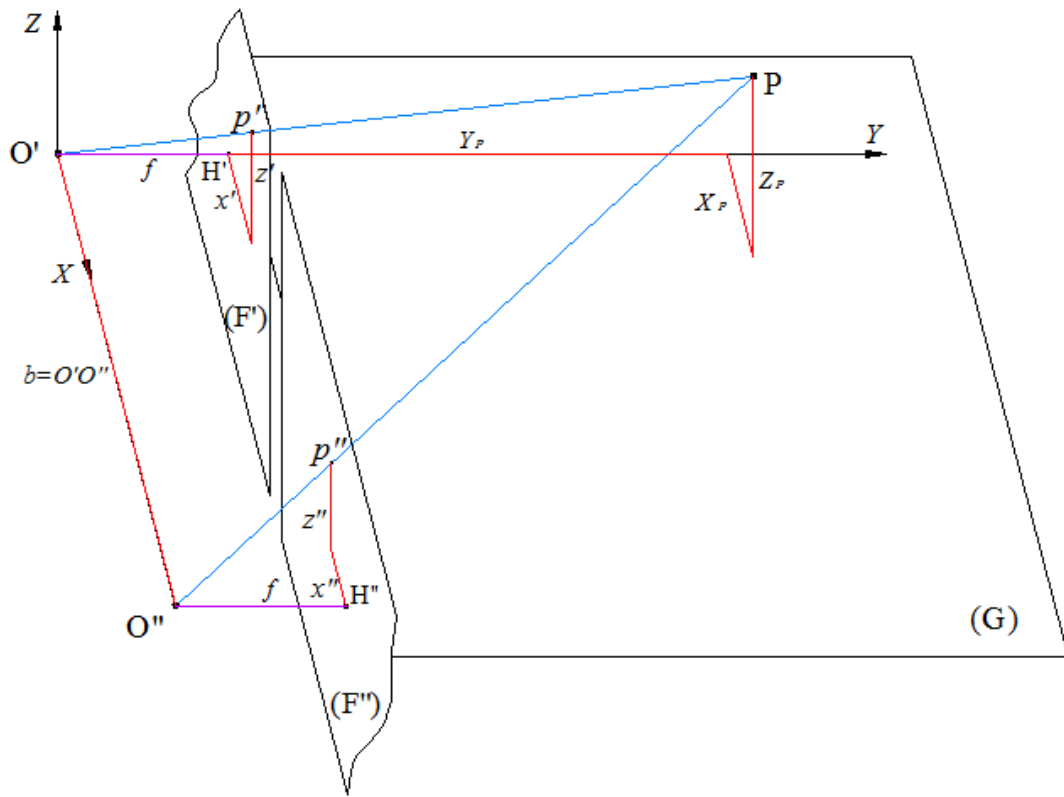


Fig. 4.15 Cazul normal în fotogrammetria terestră

Prin aceste particularizări se păstrează valabile relațiile (4.28) și (4.29):

$$b_x = b \quad b_y = b_z = 0 \quad (4.28)$$

$$X_{O'} = Y_{O'} = Z_{O'} = 0 \quad (4.29)$$

Considerăm și în acest caz că axele sistemului x', y', z' respectiv x'', y'', z'' sunt paralele cu axele sistemului X, Y, Z .

De aici rezultă că punctele omoloage p' și p'' sunt definite în planele (F') , (F'') prin coordonatele x', z' respectiv x'', z'' .

Înlocuind în ecuația de bază a stereoscopiei și ținând cont de faptul că $Z' = Z''$, coordonatele punctului P din spațiul obiect sunt:

$$X = b \cdot \frac{x'}{p} \quad Y = b \cdot \frac{f}{p} \quad Z = b \cdot \frac{z'}{p} \quad (4.35)$$

Comparând aceste ecuații cu cele obținute în cazul perspectivelor nadirale, se observă că în cazul fotogrammetriei terestre coordonata X are aceeași semnificație ca și în cazul nadiral, coordonata Z reprezintă înălțimea punctului P deasupra planului orizontal care trece prin baza b , iar coordonata Y reprezintă distanța orizontală dintre punctul P și baza fotogrammetrică b . Această distanță mai este numită depărtarea punctului P , iar mărimea ei variază exclusiv funcție de paralaxa p .

b. Cazul paralel deviat

Cazul paralel deviat în fotogrammetria terestră se întâlnește des, atunci când direcțiile principale ale celor două perspective sunt paralele, orizontale dar sunt oblice pe direcția bazei.

Devierea direcțiilor principale față de direcția normală pe bază poate fi spre stânga sau spre dreapta (Fig. 4.16).

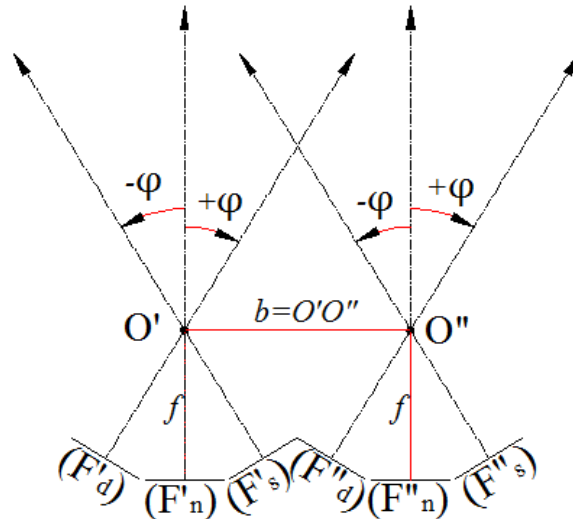


Fig. 4.16 Devierea direcțiilor principale față de normala la bază

Acceptăm convențional că devierea direcției principale spre dreapta este pozitivă, iar spre stânga este negativă și atribuim aceste sensuri și unghiurilor de deviație, unghiul de deviație spre dreapta fiind pozitiv iar unghiul de deviație spre stânga negativ, dar având aceeași valoare absolută cu unghiul de deviație spre dreapta.

Rezolvarea cazului paralel deviat se poate realiza ușor prin reducerea lui la cazul normal.

Considerăm cazul paralel deviat dreapta. Punctului P din spațiul obiect îi corespund în perspectivele centrale $(F'd)$ și $(F''d)$ punctele omoloage p' și p'' având coordonatele x' și x'' .

Pentru a reduce cazul paralel deviat la cazul normal sunt necesare câteva operații ajutătoare (Fig. 4.17):

1. se proiectează baza fotogrammetrică pe direcția principală $O'H'$ și pe direcția perpendiculară pe $O'H'$ și se obțin componentele b_x și b_y ale acestei baze. Cum devierea direcțiilor principale față de normala pe bază este egală cu unghiul $+\varphi$, putem scrie:

$$b_x = b \cdot \cos \varphi \quad b_y = b \cdot \sin \varphi \quad (4.36)$$

Componentele b_x și b_y se intersectează în unghi drept în punctele O''_d .

2. se translatează partea aferentă centrului de perspectivă O'' așa încât acest centru să se suprapună peste O''_d , perspectiva centrală (F''_d) luând poziția (F''_{dn}) coplanară cu $(F'd)$.

Prin aceasta cuplul de perspective $(F'd)$, (F''_{dn}) devine un caz normal, având baza fotogrammetrică egală cu b_x , iar punctele omoloage p' , p''_n devin imaginile corespunzătoare punctului P_n din spațiul obiect.

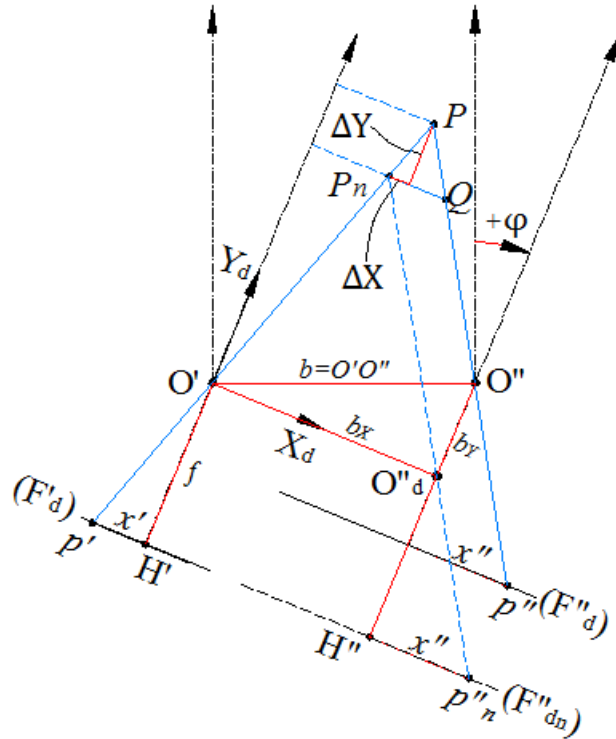


Fig. 4.17 Cazul paralel deviat dreapta în fotogrammetria terestră

Sistemul fotogrammetric de coordonate al acestui caz normal va avea axa X_d dirijată pe direcția b_x , axa Y_d dirijată pe direcția $O'H'$, iar originea sistemului va fi în centrul de perspectivă O' .

Vom exprima poziția punctului P din spațiul obiect față de sistemul de referință format din axele X_d , Y_d și o axă Z_d perpendiculară pe planul (X_d, Y_d) . Dar după cum se observă din figura 4.17, poziția punctului P față de acest sistem de referință diferă de poziția punctului P_n numai prin cantitățile ΔX și ΔY .

Deci putem scrie pentru coordonatele punctului P relațiile:

$$X_p = X_{p_n} + \Delta X \quad Y_p = Y_{p_n} + \Delta Y \quad (4.37)$$

Ținând seama de relațiile care definesc coordonatele unui punct din spațiul obiect în cazul normal (4.35), de relațiile pentru componentele bazei fotogrammetrice în cazul de față (4.36) și de relația paralaxei p , coordonatele punctului P_n sunt:

$$\begin{aligned} X_{p_n} &= b \cdot \cos \varphi \cdot \frac{x'}{p} = \frac{Y_{p_n}}{f} \cdot x' \\ Y_{p_n} &= b \cdot \cos \varphi \cdot \frac{f}{p} \\ Z_{p_n} &= b \cdot \cos \varphi \cdot \frac{z'}{p} = \frac{Y_{p_n}}{f} \cdot z' \end{aligned} \quad (4.38)$$

Pe baza triunghiurilor asemenea formate (Fig. 4.17), putem scrie pentru ΔY :

$$\frac{\Delta Y}{f} = \frac{P_n Q}{p} \quad \text{și} \quad \frac{P_n Q}{x''} = \frac{b_Y}{f} \quad (4.39)$$

De unde:

$$\Delta Y = \frac{x'' \cdot b_Y}{p} = \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{p} \quad (4.40)$$

Pentru ΔX putem scrie:

$$\frac{\Delta X}{x'} = \frac{\Delta Y}{f} \quad (4.41)$$

Ținând seama de relația determinată anterior pentru ΔY (4.40), ΔX devine:

$$\Delta X = \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{p} \cdot \frac{1}{f} \cdot x' \quad (4.42)$$

Coordonatele punctului P pentru cazul paralel deviat dreapta devin:

$$\begin{aligned} X_d &= \frac{b \cdot \cos \varphi + \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot x' = \frac{Y_d}{f} \cdot x' \\ Y_d &= \frac{b \cdot \cos \varphi + \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot f \\ Z_d &= \frac{b \cdot \cos \varphi + \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot z' = \frac{Y_d}{f} \cdot z' \end{aligned} \quad (4.43)$$

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{b \cdot \cos \varphi - \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot x' = \frac{Y_s}{f} \cdot x' \\ Y_s &= \frac{b \cdot \cos \varphi - \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot f \\ Z_s &= \frac{b \cdot \cos \varphi - \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot z' = \frac{Y_s}{f} \cdot z' \end{aligned} \quad (4.44)$$

În cazul paralel deviat stânga originea sistemului fotogrammetric de coordonate va fi tot în centrul de perspectivă O' , schimbându-se numai semnul unghiului φ .

Coordonatele punctului P din spațiul obiect, pentru cazul paralel deviat stânga sunt date de relațiile (4.44).

La modul general, ținând seama de semnul unghiului de deviație, de faptul că acesta este nul în cazul normal și de faptul că sistemul de coordonate X, Y, Z , are axa X

orientată pe direcția b_x (componenta pe axa X a bazei fotogrammetrice), axa Y orientată pe direcția perpendiculară pe (F') , iar originea sistemului este în centrul de perspectivă O' , atunci putem scrie relațiile pentru coordonatele punctului P din spațiul obiect valabile atât pentru cazul normal cât și pentru cazurile paralel deviate dreapta sau stânga:

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{b \cdot \cos \varphi \pm \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot x' = \frac{Y}{f} \cdot x' \\
 Y &= \frac{b \cdot \cos \varphi \pm \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot f \\
 Z &= \frac{b \cdot \cos \varphi \pm \frac{x'' \cdot b \cdot \sin \varphi}{f}}{p} \cdot z' = \frac{Y}{f} \cdot z'
 \end{aligned}
 \tag{4.45}$$

c. Cazul convergent

Ca și cazul paralel deviat, cazul convergent în fotogrammetria terestră se întâlnește des, atunci când direcțiile principale ale celor două perspective sunt oblice pe direcția bazei, intersectându-se în spațiul obiect.

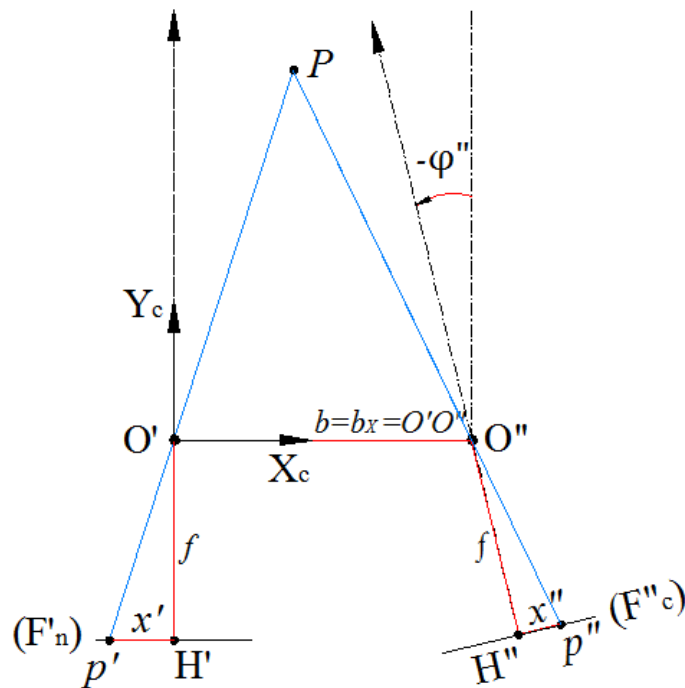


Fig. 4.18 Cazul normal convergent în fotogrammetria terestră

Considerăm cazul normal convergent, când direcția principală a perspectivei din stânga este normală la bază ($\varphi' = 0$), iar direcția principală a perspectivei din dreapta este rotită spre stânga față de normala la bază cu unghiul φ'' (Fig. 4.18).

Sistemul fotogrammetric de coordonate al acestui caz normal va avea axa X_c dirijată pe direcția bazei fotogrammetrice b ($b_x = b$), axa Y_c dirijată pe direcția $O'H'$, iar originea sistemului în centrul de perspectivă O' .

Punctului P din spațiul obiect îi corespund în perspectivele centrale (F'_n) și (F''_c) punctele omoloage p' și p'' având coordonatele x' și x'' . Coordonatele punctului P din spațiul obiect, pentru cazul normal convergent sunt:

$$\begin{aligned} X_{nc} &= b \cdot \frac{f \cdot \cos \varphi + x'' \cdot \sin \varphi}{p \cdot f \cdot \cos \varphi + (x' \cdot x'' + f^2) \cdot \sin \varphi} \cdot x' = \frac{Y_{nc}}{f} \cdot x' \\ Y_{nc} &= f \cdot b \cdot \frac{f \cdot \cos \varphi + x'' \cdot \sin \varphi}{p \cdot f \cdot \cos \varphi + (x' \cdot x'' + f^2) \cdot \sin \varphi} \\ Z_{nc} &= b \cdot \frac{f \cdot \cos \varphi + x'' \cdot \sin \varphi}{p \cdot f \cdot \cos \varphi + (x' \cdot x'' + f^2) \cdot \sin \varphi} \cdot z' = \frac{Y_{nc}}{f} \cdot z' \end{aligned} \quad (4.46)$$

În cazul când ambe axe sunt convergente, se reduce câmpul spațiului obiect al stereogramei și este îngreunată vederea stereoscopică.

Capitolul 5

Aerofotografierea

Avioane de aerofotografiere

Pentru ca un avion să poată fi folosit în aerofotografiere trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- a.* să aibă o vizibilitate bună;
- b.* să aibă o stabilitate de zbor în plan orizontal și în plan vertical;
- c.* să aibă o viteză ascensională mare;
- d.* o autonomie mare de zbor (8-10 h);
- e.* un ecart mare de viteză;
- f.* plafonul de zbor cât mai ridicat (~ 5000÷6000 m);
- g.* să poată decola și ateriza pe distanțe scurte;
- h.* posibilitatea amplasării camerei aerofotogrammetrice în centrul de greutate al avionului;
- i.* postul de comandă pentru operatorul fotoaerian să se găsească în imediata apropiere și în legătură directă cu pilotul avionului;
- j.* locul de amplasare al camerei aerofotogrammetrice să fie degajat;
- k.* să permită amenajarea unei camere obscure;
- l.* locul de evacuare a gazelor de la avion să fie cât mai departe de camera aerofotogrammetrică;
- m.* părțile constructive ale avionului să nu afecteze unghiul de vedere al obiectivului camerei;
- n.* legătura dintre membrii echipajului să fie asigurată prin intercomunicații radio;
- o.* să fie dotat cu instalații moderne de navigație;
- p.* pentru executarea lucrărilor de aerofotografiere la scări mici pe suprafețe mari avioanele trebuie să fie dotate cu instalații de oxigen și de compensare a presiunii, instalație de încălzire pentru echipaj și pentru camere, precum și instalații de dejivrare.

Dintre avioanele folosite la aerofotografiere amintim: BN2 – Islander (Fig. 5.1 *a.*), AN2, IȘ24 - varianta aerofotogrammetrică (Fig. 5.1 *b.*), Aero Commander, Grand Commander, etc.



a. Avionul fotogrammetric BN-2 Islander



b. Avionul fotogrammetric IȘ 24

Fig. 5.1 Avioane folosite în aerofotografiere
(sursa: Toderaș, T. Teledetecție – curs)

Camere aerofotogrammetrice

Camerele fotogrammetrice aeriene sunt echipamente speciale de fotografiere care pot lucra în condiții deosebite de presiune, temperatură și umiditate.

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească o cameră fotoaeriană sunt:

- a. asigurarea iluminării simultane și uniforme a tuturor punctelor din planul clișeului;
- b. să fie înzestrată cu obiectivi speciali, lipsiți de aberații și distorsiuni;
- c. să asigure planeitatea perfectă a filmului în timpul expunerii;
- d. să permită expuneri scurte;
- e. să mențină constante elementele de orientare interioară;
- f. să aibă un volum și o greutate mică.

Distanța până la obiectele fotografiate este cuprinsă între câteva sute de metri și câteva zeci de mii de metri, unele camere putând fi instalate pe vehicule spațiale (la peste 200 km altitudine).

Prin folosirea corectă, camerele fotoaeriene asigură preluarea fotogramelor la o anumită scară. Pe cadrul fiecărei fotograme sunt înregistrate elemente care asigură identificarea (indici de referință, număr de ordine, constanta camerei, înclinări ale acesteia, ora preluării, altitudinea platformei aeriene).

Întrucât fotogramele sunt perspective centrale, o deosebită importanță au elementele de orientare interioară ale fotogramei în reconstituirea fascicului de raze de proiecție din momentul preluării.

Elementele de orientare interioară (constanta camerei = distanța focală f și coordonatele punctului principal H') și distorsiunile obiectivului fotografic al camerei sunt determinate în urma unor măsurători de calibrare precise făcute de firma producătoare, fiind trecute în certificatul de calibrare al camerei.

Obiectivul camerei este focusat la ∞ datorită distanței mari până la obiectele fotografiate.

În momentul fotografierii axul obiectivului camerei trebuie să fie cât mai apropiat de verticală. Părțile componente ale unei camere fotoaeriene sunt prezentate schematic în figura 5.2.

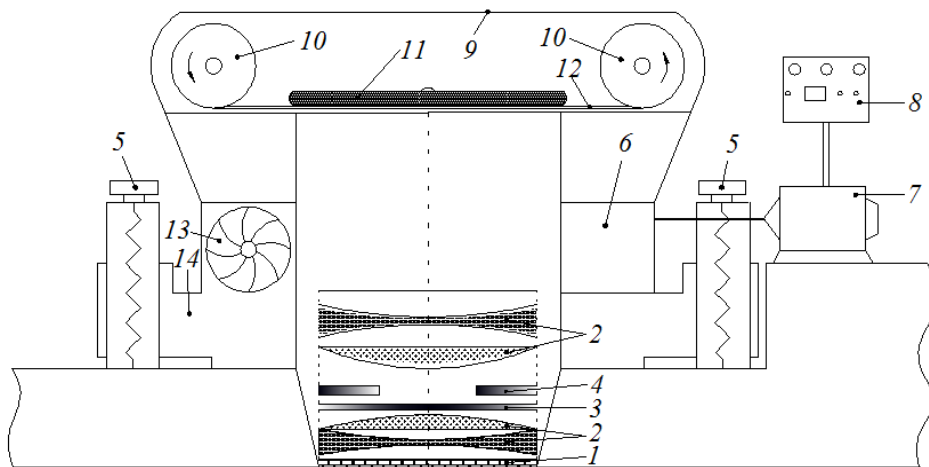


Fig. 5.2 Schema unei camere fotogrammetrice aeriene

- 1 – filtrul obiectivului
- 2 – sistemul optic al obiectivului
- 3 – obturatorul
- 4 – diafragma
- 5 – sistemul de prindere și de amortizare a vibrațiilor
- 6 – modulul de acționare a mecanismelor camerei
- 7 – electromotor

- 8 – sistemul de comandă
- 9 – caseta cu film
- 10 – bobine cu film
- 11 – placa de presiune
- 12 – filmul fotografic
- 13 – pompa de aer
- 14 – corpul camerei



b.

Obiectiv	Distanța focală - f	Unghi de deschidere	Acoperire	Format fotogramă	Viteza obturatorului
Cu unghi larg 15/4 UAG-S	153mm	90°	f/4 ÷ f/22	23 x 23 cm	1/100 ÷ 1/1000
Normal 30/4 NAT-S	305mm	55°	f/4 ÷ f/22	23 x 23 cm	1/100 ÷ 1/1000

Fig. 5.3 Cameră fotogrametrică aeriană analogică Leica RC-30
a. camera fotogrametrică *b.* amplasarea camerei în avion
 (sursa: GEO123.1_Lecture_13_FS2015_Photogrammetry_v1_dpi220_University of Zurich)



HRSC – AX150AXW047



LEICA ADS 40



DMC – HE

Fig. 5.4 Camere fotogrammetriche aeree digitali
(sursa: GEO123.1_Lecture_13_FS2015_Photogrammetry_v1_dpi220_University of Zurich)

Caracteristicile camerelor fotogrammetrice aeriene digitale

Camera	HRSC – AX150/AXW047	LEICA ADS 40	DMC – HE
Caracteristici			
Producător	DLR	Leica	Intergraph Z / I Imaging
Domeniile spectrale	5 PAN, 3 RGB, 1 NIR / 3 PAN, 1 Roșu, 1 Albastru	3 PAN, 3 RGB, 1 NIR	1 PAN, 3 RGB, 1 NIR
Tipul de senzor	senzor de linie	senzor de linie	senzor de zonă
Dimensiunea senzorului CCD [pixeli]	12.000	2 x 12.000 (PAN), 12.000 (MS)	13.500 x 8.000 (PAN), 2.000 x 3.000 (MS)
Distanța focală f [mm]	150 / 47	62.5	1:4.0 / 120 (PAN), 25 (MS)
Dimensiune pixeli [μm]	6.5 / 6.5	6.5	12
Rezoluție	12 bit/pixel	12 bit/pixel	12 bit/pixel
Georeferențiere	GPS / INS	GPS / INS	GPS / INS (opțional)
PAN = pancromatic	MS = multispectral	RGB = benzi spectrale (R-roșu, G-verde, B-albastru)	NIR = infraroșu apropiat



Fig. 5.5 Amplasarea camerei fotogrammetrice digitale în aparatul de zbor
 (sursa: GEO123.1_Lecture_13_FS2015_Photogrammetry_v1_dpi220_University of Zurich)

Preluarea imaginilor cu camere fotogrammetrice digitale



Fig. 5.6 Principiul de preluare a imaginilor aeriene
 cu camerele fotogrammetrice Leica analogice / digitale
 (sursa: GEO123.1_Lecture_13_FS2015_Photogrammetry_v1_dpi220_University of Zurich)

Imaginile digitale sunt de tip raster, fiind alcătuite din *pixeli* – elemente de imagine – cu o dispunere matriceală și poziționare precisă în raport cu un sistem rectangular de coordonate. Dimensiunile fiecărui *pixel* (dx , dy) și culoarea sau nuanța de gri (pentru imaginile alb-negru) sunt bine determinate. Culoarea sau nuanța de gri este cuprinsă între valoarea 0 (pentru radiații cu intensitatea cea mai slabă sau lipsa acestora, fiind reprezentată prin nuanță de gri sau prin culoarea *negru*) și 255 (pentru radiații cu intensitatea cea mai mare, fiind reprezentată prin nuanță de gri sau prin culoarea *alb*). Camerele fotogrammetrice digitale sunt dotate fie senzori de imagine digitali *de linie de tip CCD*, fie cu senzori de imagine digitali *de zonă de tip DMC*.

Senzorul de linie de tip CCD este montat perpendicular în raport cu direcția de deplasare a vehiculului pe care este instalată camera fotogrammetrică.

Senzorii de zonă de tip DMC echipează camerele fotogrammetrice multispectrale și cele multiobiectiv. Cu acest tip de senzori se înregistrează, la o expunere, o imagine întregă sau un segment de imagine, în acest caz imaginea finală fiind formată din mai multe segmente de imagine, într-un interval de bandă.

Anexele camerelor fotoaeriene

Anexele camerelor ajută la determinarea unor parametri care sunt necesari în exploatarea ulterioară a fotogramelor. Aceste anexe sunt:

1. luneta de navigație – servește la supravegherea desfășurării corecte a aerofotografierii. Se montează în imediata apropiere a camerei, într-un orificiu practicat în podeaua avionului. Este prevăzută cu fire reticulare și cu un dispozitiv pentru reglarea acoperirilor longitudinale ale fotogramelor și asigură un unghi devizibilitate de $2 \times 50^\circ$; luneta poate fi rotită cu 400° în jurul axei sale.

2. exonometrul – servește la stabilirea valorii deschiderii diafragmei în funcție de timpul de expunere calculat, în corelație cu condițiile de mediu din zona de aerofotografiere;

3. camera orizont – servește la stabilirea înclinării longitudinale φ și a celei transversale ω a camerei, în momentul expunerii fiecărei fotografe, prin simularea liniei orizontului. Orientativ, înclinările camerei pot fi stabilite și cu ajutorul imaginii unei nivele sferice ce apare pe cadrul fiecărei fotografe;

4. statoscopul – servește la determinarea diferențelor de nivel între stațiile de aerofotografiere, fiind un barometru diferențial ce asigură o precizie de 0,5 m, în condiții optime;

5. radioaltimetrul – bazat pe principiul radarului, asigură o precizie de 0,1 m;

6. dispozitive GNSS – utilizate pentru determinarea coordonatelor stațiilor de aerofotografiere; o antenă de recepție a semnalelor de la sateliții rețelei GPS este amplasată la bordul avionului, iar o a doua este amplasată la sol, măsurarea făcându-se în regim dinamic cu precizii de ordinul centimetrilor;

7. sisteme de compensare a trenării;

8. sisteme inerțiale de măsurare – înregistrează pozițiile celor trei axe (X, Y, Z) ale camerei în momentul preluării fiecărei fotografe cu ajutorul unor senzori laser foarte sensibili.

Verificarea și etalonarea camerelor aerofotogrammetrice

Fiind niște aparate complexe, camerele fotoaeriene se pot dereglă sau uza în timpul funcționării, motiv pentru care ele se verifică periodic, precum și după efectuarea reparațiilor.

Determinarea caracteristicilor camerei precum și a abaterilor sistematice de la perspectiva centrală riguroasă se realizează prin operația de etalonare.

Metodele de etalonare pot fi clasificate în două categorii:

I. metode de laborator care utilizează echipamente complicate și costisitoare dar care necesită un volum de calcule mai restrâns;

II. metode operaționale de teren care folosesc echipamente tehnice de calibrare mai restrânse dar presupun un volum de calcule mult mai mare.

În principiu, pentru toate metodele parametrilor de calibrare se deduc din corespondența proiectivă dintre fasciculul de raze din planul obiect și din planul imagine.

Indiferent ce metodă de etalonare se folosește, fișa tehnică de etalonare, respectiv calibrare, trebuie să cuprindă elementele:

- a. coordonatele punctului principal;
- b. punctul de autocolimație;
- c. punctul de simetrie;
- d. distanța focală calibrată;
- e. distorsiunile radiale și tangențiale;
- f. distorsiunile radiale asimetrice;
- g. înclinările planului imagine.

O caracterizare completă a camerelor aerofotogrammetrice cuprinde, pe lângă elementele menționate și funcția de transfer a modulației.

Proiectarea aerofotografierii

Obținerea datelor inițiale necesare întocmirii proiectului tehnic se realizează prin:

- studierea caracteristicilor reliefului pentru determinarea procentului de acoperire longitudinală și transversală;
- studierea caracteristicilor climatice ale zonei;
- studierea datelor meteorologice pentru stabilirea numărului probabil al zilelor propice de aerofotografiere lunar, precum și durata medie a zilei de aerofotografiere;
- studierea existenței de terenuri bune de aterizare în zonă.

Proiectul de aerofotografiere se referă la:

- scopul aerofotografierii: exploatare metrice, fotointerpretare și cercetare;
- alegerea emulsiilor fotografice: ortocromatice, pancromatice, infraroșu, color și fals color;
- raportul dintre scara fotogramelor și scara hărților care se întocmesc; camera aerofotogrammetrică cartografică se alege ținând seama de caracteristicile terenului și de precizia altimetrică dorită;
- volumul lucrărilor de aerofotografiere posibil de executat în cursul unei misiuni.

La întocmirea proiectului de aerofotografiere trebuie să se țină seama de caracterul reliefului (cota medie a terenului), în funcție de care se alege înălțimea de aerofotografiere H astfel încât acoperirile rezultate să nu fie mai mici decât cele necesare exploatării fotogramelor.

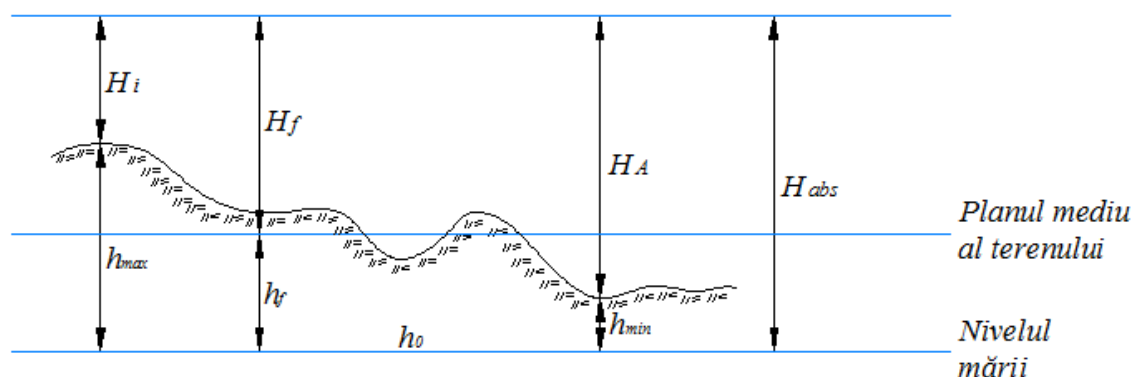


Fig. 5.7 Planul mediu al terenului

Cota medie a terenului deasupra nivelului mării (Fig. 5.7) se calculează cu ajutorul cotelor maxime h_{max} și a cotelor minime h_{min} ale punctelor terenului de aerofotografiat, cu condiția ca:

$$h_{max} - h_{min} \leq 0,05H \quad (5.1)$$

Cota medie a terenului h_f se calculează cu relația:

$$h_f = \frac{2}{3} \cdot (h_{max} + h_{min}) \quad (5.2)$$

La aerofotografierea la scări mari sau cu avioane de mare viteză se calculează înălțimea minimă admisibilă de aerofotografiere ținând seama de timpul minim de așteptare t_{min} pe care îl poate realiza camera aerofotogrametrică.

Pentru realizarea acoperirilor longitudinale între fotograme este necesar să se cunoască timpul de așteptare pentru cazul în care între două expuneri succesive dispozitivul pentru transportul filmului nu permite deschiderea obturatorului la intervalul de timp înregistrat la aparatul de comandă.

Reperle fotogrammetrice

Alegerea și determinarea punctelor folosite drept reper se realizează pe baza unui proiect de reperaj fotogrammetric, în cadrul căruia reperelor proiectate trebuie să se fie dispuse în concordanță cu cerințele de exploatare a fotogramelor zborului executat și cu metodele utilizate în acest scop.

Proiectul de reperaj va cuprinde:

- punctele rețelei geodezice (inclusiv cea de nivelment) din zona pentru care a fost întocmit proiectul de aerofotografiere, care vor fi utilizate pentru stabilirea coordonatelor spațiale ale punctelor reper;
- limitele zonei de lucru;

- punctele reper proiectate;
- direcțiile de determinare;
- traseele de nivelment geometric sau trigonometric.

Drept repere fotogrammetrice sunt alese detalii clare, puncte cu înălțimi mici, plasate pe suprafețe cât mai orizontale, care se văd clar pe toate fotografiile ce le conțin (cu imagini $\leq 0,2$ mm), amplasate astfel încât să permită o bună și ușoară determinare.

Pot fi alese drept repere fotogrammetrice:

- capete de balustrade de poduri și podețe, etc.;
- detalii punctiforme distincte;
- colțurile acoperișurilor clădirilor izolate;
- colțuri de platforme, fundații, garduri etc. ;
- intersecții de detalii liniare, cu unghiuri cuprinse între maximum 60° și minimum 14° ;
- colțuri de parcele sau cvartale, cu laturi care formează unghiuri apropiate de 90° .

În lipsa altor detalii, în zonele neconstruite se pot alege :

- baza stâlpilor din liniile electrice și de comunicații;
- pomi izolați, arbuști sau tufe, a căror coroană are diametrul mic încât pe fotogramă să apară punctiform.

Nu sunt alese drept puncte reper :

- detalii cu înălțime mai mare de 1m;
- detalii situate pe terenuri înclinate, cu unghiuri de pantă peste 10° ;
- detalii neclare, nestabile, umbrite sau cu linii curbe ;
- tufe și copaci izolați cu diametrul mare, care nu apar ca detalii punctiforme pe fotogramă.

Pe fotografiile, punctele reper sunt identificate obligatoriu parcurgând terenul fotografiat. Poziția reperului se înțeapă cu un ac fin pe fotogramă, așa încât înțepătura rezultată să nu aibă dimensiuni mai mari de 0,1 mm, eroarea de identificare să nu depășească 0,2 mm, având grijă să fie înțepat doar stratul fotosensibil.

După identificare și înțeparea pe fotogramă a poziției punctului reper, pe partea neemulsionată a fotografiei se întocmește o schiță a reperului la o scară mai mare de 3 până la 5 ori față de scara fotografiilor, care să conțină detalii pentru identificarea poziției reperului, explicații despre naturii reperului (intersecție de tarlale, tufă, colț casă, colț gard etc).

Pentru determinarea poziției, punctele de reperaj fotogrammetrie se marchează pe teren prin țărui cu lungimea de 20 - 25 cm, care se bat până la 5 - 6 cm de la sol. Pe țărui este înscris numărul reperului, numerotarea fiind făcută cu numere de ordine, diferite de ale rețelei topografice, având grijă ca acestea să nu se repete în cadrul aceleiași lucrări.

Pregătirea și executarea lucrărilor de preluare a fotografiilor aeriene

Pregătirea lucrărilor de preluare a fotografiilor aeriene constă în:

a. alegerea condițiilor de aerofotografiere:

a.1. alegerea condițiilor meteorologice pe baza prognozelor făcute de stațiile meteorologice locale cu cel mult două ore înainte de începerea lucrărilor;

a.2. aprecierea condițiilor optico-atmosferice care se face în zbor funcție de vizibilitatea reperelor observate și anume:

- vizibilitate foarte bună – se disting foarte bine toate reperele și contururile până la 75° de nadir, în mod practic până la orizont;
- vizibilitate bună – se pot distinge reperele până la 60° de nadir sau, practic, până la dublul înălțimii de aerofotografiere;
- vizibilitate satisfăcătoare – reperele și contururile se disting până la 45° de nadir sau până la înălțimea de aerofotografiere;
- vizibilitate rea (când aerofotografierea nu este posibilă) – se pot distinge doar contururile numai până la 30° de nadir sau până la jumătatea înălțimii de aerofotografiere;

b. alegerea filmelor și filtrelor aeriene care constă în combinarea rațională a filmului ales cu filtrul de lumină, în funcție de misiunea de îndeplinit, în așa fel încât să facă posibile obținerea de rezultate optime. Dacă în atmosferă este ceață, folosirea filtrelor nu are nici un efect.

c. determinarea calității de transfer a informației prin funcția de transfer a modulației (FTM):

$$FTM = \frac{\text{Modulatia_imagine}}{\text{Modulatia_obiect}} = \frac{MI}{MO} \quad (5.3)$$

Modulațiile obiectului și ale imaginii sunt definite de raporturile dintre luminozitatea maximă și minimă a obiectului și a intensității maxime și minime a imaginii, la o anumită frecvență:

$$MO = \frac{L(\nu)_{\max} - L(\nu)_{\min}}{L(\nu)_{\max} + L(\nu)_{\min}} \quad MI = \frac{I(\nu)_{\max} - I(\nu)_{\min}}{I(\nu)_{\max} + I(\nu)_{\min}} \quad (5.4)$$

Prelucrarea de laborator a rezultatelor aerofotografierii

Caracterul terenului, înălțimea de aerofotografiere, starea atmosferică, înălțimea soarelui deasupra orizontului în timpul aerofotografierii, filtrul de lumină folosit și expunerea sunt condițiile de aerofotografiere de care trebuie să se țină seama la alegerea revelatorului și a condițiilor de dezvoltare (contrastul, timpul de dezvoltare). Viteza procesului de dezvoltare depinde de modul de dezvoltare, de compoziția soluției revelatoare, de gradul său de concentrație, temperatură, cantitatea de lumină care acționează asupra stratului fotosensibil și de gradul de agitație a băilor în timpul dezvoltării.

Pentru prelucrarea filmelor și a plăcilor alb-negru și color se folosesc o serie de instalații care asigură dezvoltarea, fixarea și spălarea filmelor, cum ar fi instalația Wild, iar pentru uscarea filmelor se folosesc mașini de uscat.

Pentru copiere se folosesc aparate de copiere prin contact și proiecție sau aparate care realizează diapozitive cu un raport de transformare continuu (mărire de până la 1-6 ori sau micșorare de 5-6 ori); concomitent cu copierea pot fi compensate: distorsiunile imaginilor, efectul curburii și refracției atmosferice, contrastele.

Aprecierea calității lucrărilor de aerofotografiere

Calitatea fotografică a fotogramelor trebuie să asigure imagini cu contraste corespunzătoare care să răspundă complet condițiilor cerute de lucrările fotogrammetrice, respectiv anumiți coeficienți să fie cuprinși, ca mărime, între valori limită bine precizate și anume:

- coeficientul de contrast $\gamma = 0,9 \div 2,4$;
- contrastul fotografic $Q = 0,5 \div 2,0$;
- densitatea optică $D = 0,7 \div 2,3$;
- voalul $D_v = 0,1 \div 0,5$.

Verificarea rezultatelor aerofotografierii

Calitatea fotografică

Se determină prin efectuarea de măsurători a densităților fotografice la un sensitometru în urma cărora se obțin:

- a. *coeficientul de contrast* γ – cu ajutorul curbei sensitometrice construită pe bazamă surătorilor pe sensitogramă;
- b. *densitatea maximă și minimă* (D_{max}, D_{min}) – se măsoară pe negative;
- c. *contrastul fotografic* $Q = D_{max} - D_{min}$;
- d. *voalul* D_v – se măsoară pe porțiunile de film libere dintre imaginile fotografice.

Calitatea fotogrametrică

Se urmăresc următorii parametri:

- a. *defectele fotogramelor* – se referă la imaginile norilor sau a umbrelor lor, umbrele reliefului terenului sau a construcțiilor, zgârieturi, pete luminoase; se verifică pe calea observării minuțioase la lumină a fiecărui negativ, folosind o masă luminoasă.
- b. *deformările imaginii fotografice* – se determină prin procedeele următoare:
 - observarea la stereoscop a copilor prin contact constatându-se deformările mari;
 - măsurarea pe negative a devierii de la linia dreaptă a imaginii grilelor speciale de control situate deasupra cadrului camerei;
 - măsurarea paralaxelor longitudinale sau transversale în puncte dispuse pe o dreaptă din zonă de triplă acoperire.

Se realizează modelul stereoscopic la 3 negative consecutive, folosind metoda de orientare în serie. În zona de triplă acoperire se fac citiri de diferențe de nivel Δh_i . Valorile obținute se transformă în milimetri cu relația:

$$\delta_{hi} = \frac{\Delta h_i}{S_m} \quad (5.5)$$

unde: S_m – scara modelului;

Neplaneitatea se calculează cu formula:

$$c = \frac{b \cdot \delta_{hi}}{H_{[mm]}} \quad (5.6)$$

Neplaneitatea se poate aprecia în funcție de diferența paralaxelor longitudinale în punctele comune ale modelului stereoscopic, care nu trebuie să depășească valorile:

- 0,15 la diferența de nivel $h = 100m$;
- 0,25 la diferența de nivel $h = 200m$;
- 0,35 la diferența de nivel $h = 300m$;
- 0,45 la diferența de nivel $h = 400m$.

Abaterile grosolane de neplaneitate pot fi observate sub formă de pete în care se pierde claritatea.

c. *măsurarea acoperirilor*. După aerofotografiere, acoperirea realizată a fotogramelor se determină folosind relațiile din anexa 1, sau se măsoară cu o riglă special gradată în procente (%). Acoperirea longitudinală p se măsoară la cel puțin jumătate din fotogramele benzii, iar acoperirea transversală q la 4-5 fotograme cu acoperirile cele mai mici și cele mai mari.

Valorile limită de acoperire a fotogramelor sunt: pentru acoperirea longitudinală $p \geq 56\%$, iar pentru acoperirea transversală $q \geq 20\%$.

d. *determinarea numărului de fotograme din zona fotografiată* – pentru a aprecia calitatea aerofotografierii din acest punct de vedere se face raportul dintre numărul real de fotograme executat N_r și numărul de fotograme calculat N_f .

e. *unghiul de înclinare al fotogramei* – dacă nu avem determinări cu camera orizont, stabilirea înclinării fotogramei se face cu ajutorul nivelei sferice situate pe cadrul aplicat al camerei, a cărei imagine apare în colțul fotogramei. Fiecare interval are valoarea 1° .

f. *înălțimea medie de aerofotografiere* – se determină pentru fiecare trapez la scara planului de întocmit, cu relația:

$$H_{med} = f \cdot S_c \cdot \frac{2d}{d_1 + d_2} \quad (5.7)$$

unde:

S_c – numitorul scării trapezului;

d – lungimea diagonalei, în cm , luată din tabelele dimensiunilor cadrului trapezelor;

d_1, d_2 – lungimile diagonalelor trapezelor măsurate, în cm , pe mozaicul de zbor.

g. *măsurarea unghiului dintre direcția bazei de aerofotografiere și latura fotogramei* – se realizează cu ajutorul unei rigle divizate în grade; pentru a măsura acest unghi perechea de fotograme vecine se racordează după detalii.

h. *devierea (curbura) de la axa rectilie a benzii* – se determină pe calea măsurării mărimilor celor mai mari devieri ale punctelor mijlocii ale fotogramelor, față de dreapta care unește punctele mijlocii ale fotogramelor de la capetele benzii.

i. *întreruperile benzilor în zonele aerofotografiate precum și asigurarea zonei cu fotograme* – se stabilesc printr-o cercetare minuțioasă a mozaicurilor.

Aprecierea generală a calității rezultatelor aerofotografierii

Aprecierea generală a calității rezultatelor aerofotografierii se face prin aprecierea calității fotografice a fotogramelor și prin aprecierea calității fotogrammetrice a acestora.

Calitatea fotografică a fotogramelor negative se apreciază astfel:

- *foarte bine* – dacă coeficientul de contrast γ , coeficientul fotografic Q , densitatea maximă D_{max} , voalul D_v și defectele clișeelor obțin calificativul *foarte bine*, sau dacă pentru γ , Q , D_{max} calificativul este *foarte bine*, iar pentru D_v și defectele clișeelor calificativul este *bine*;

- *bine* – dacă γ , Q , D_{max} au calificativul *bine*, iar restul *satisfăcător*;

- *satisfăcător* – dacă toate cele cinci elemente determinate au calificativul *satisfăcător*.

Întreaga zonă aerofotografiată se apreciază astfel:

- *foarte bine* – dacă cel puțin 75% din negative au calificativul *foarte bine*, iar restul *bine*;

- *bine* – dacă 75% din negative au calificativul *bine*, iar restul *satisfăcător*;

- *satisfăcător* – dacă peste 25% din negative au calificativul *satisfăcător*, iar restul *bine* sau *foarte bine*.

Capitolul 6

Prelucrarea fotogramelor

Retrointersecția dublă în spațiu

Construirea modelului stereoscopic, orientarea acestuia într-un sistem geodezic dat este cunoscută sub denumirea *Problema fundamentală a stereofotogrammetriei* și se rezolvă prin metoda *Retrointersecției dublă în spațiu*. În figura 6.1 este prezentat modul de determinare a punctului din spațiu prin retrointersecție dublă în spațiu.

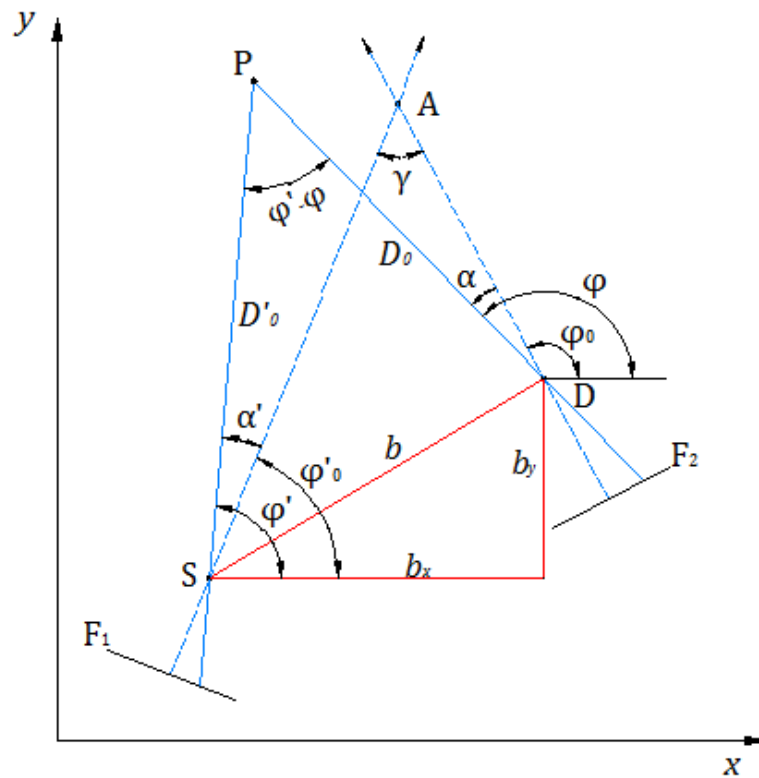


Fig. 6.1 Retrointersecția dublă în spațiu

Se consideră că se aerofotografiază punctul P (din teren) din extremitățile bazei \overline{SD} , axele optice ale camerelor de fotografiere intersectându-se în punctul A .

Considerând coordonatele rectangulare ale punctelor: $D(X_0, Y_0, Z_0)$ și $S(X_0', Y_0', Z_0')$, orientările razelor fotogrammetrice: $\varphi, \varphi', \varphi_0, \varphi_0'$, orientările axelor de aerofotografiere: α, α' și unghiul de convergență a axelor de aerofotografiere γ , coordonatele punctului P sunt date de relațiile (6.1), iar relațiile (6.2) exprimă condiția care determină orientarea relativă a stereogramei $\overline{F_1F_2}$, respectiv asigură intersecția celor două raze fotogrammetrice \overline{PD} și \overline{PS} .

$$\begin{aligned}
 X &= X_0 + \frac{b_x \cdot \sin \varphi' - b_y \cdot \cos \varphi'}{\sin(\varphi' - \varphi)} \cdot \cos \varphi \\
 Y &= Y_0 + \frac{b_x \cdot \sin \varphi' - b_y \cdot \cos \varphi'}{\sin(\varphi' - \varphi)} \cdot \sin \varphi
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

$$Z = Z_0 + \frac{b_x \cdot \sin \varphi' - b_y \cdot \cos \varphi'}{\sin(\varphi' - \varphi)} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$b_z + \frac{b_x \cdot \sin \varphi - b_y \cdot \cos \varphi}{\sin(\varphi' - \varphi)} \cdot \operatorname{tg} \beta' - \frac{b_x \cdot \sin \varphi' - b_y \cdot \cos \varphi'}{\sin(\varphi' - \varphi)} = 0 \tag{6.2}$$

β, β' – orientările razelor fotogrammetrice față de planul orizontal.

Luând în considerare relațiile (6.1), (6.2) se obține un grup de patru ecuații complete independente cu 12 cunoscute: $X, Y, Z; X_0, Y_0, Z_0; b_x, b_y; \varphi, \varphi'; \beta, \beta'$.

Dubla retrointersecție în spațiu în cazul general este determinată de 12 necunoscute.

Orientarea exterioară în stereofotogrammetria analogică se efectuează în două etape:

I. Se realizează în primul rând retrointersecția dublă în spațiu, creându-se stereomodelul; se realizează așa-numita orientare relativă (reciprocă) care conduce la determinarea a cinci din cele 12 elemente.

Orientarea relativă se realizează prin dubla intersecție în spațiu a cel puțin 5 puncte caracteristice cu condiția ca 4 din ele să nu fie coliniare.

II. Orientarea absolută – presupune aducerea la scară a stereomodelului realizat într-o poziție oarecare și orientarea acestuia în sistemul de coordonate dat. Pentru aceasta se folosesc doi reperi compleți (X, Y, Z) și un reper altimetric (Z) determinați în teren și identificați în stereomodel (pe fiecare din cele două fotograme conjugate). Orientarea absolută permite determinarea celorlalte 7 elemente necunoscute, astfel că în cele două etape sunt determinate toate cele 12 necunoscute ce determină dubla retrointersecție.

I. Orientarea relativă

Orientarea relativă (reciprocă) a două fotograme conjugate se obține atunci când toate perechile de raze omoloage corespunzătoare celor două fotograme se intersectează în spațiu. Obiectul fotografiat este reconstituit sub forma unui model optic tridimensional (stereomodel).

Pentru orientarea relativă a unei stereograme este suficient să se asigure intersecția în spațiu numai a unui număr de cinci perechi de raze, corespunzătoare a cinci puncte care să fie coplanare. Dacă este realizată această condiție, oricare altă pereche de raze omoloage conținută de stereogramă se va intersecta în spațiu.

Criteriul orientării relative îl reprezintă intersecția în spațiu a tuturor perechilor de raze omoloage ale stereomodelului considerat.

Orientarea relativă se realizează prin acționarea convenabilă asupra elementelor de orientare, până la eliminarea neconcordanței dintre fasciculul considerat de raze al stereogramei, respectiv până la realizarea intersecției razelor corespondente în cele cinci

puncte necoliniare din cuprinsul stereogramei respective.

Dispunerea optimă a celor cinci puncte plus încă a unuia de control, în care se realizează intersecția spațială a razelor omoloage, trebuie să fie ca în figura 6.2.

Această dispunere este cunoscută sub denumirea de dispunere standard, iar punctele respective poartă denumirea de puncte caracteristice.

Deoarece în operația de orientare relativă se are de-a face cu două fotograme, originea coordonatelor în sistemul stereomodelului se fixează, de regulă, în centrul fotogramei din stânga, iar abscisa centrului fotogramei din dreapta se notează cu $x-b$

Influența mișcărilor liniare și unghiulare ale ambelor fotograme asupra punctelor proiectate într-un plan $h = f \approx const$ sunt evidențiate prin relațiile(6.3)

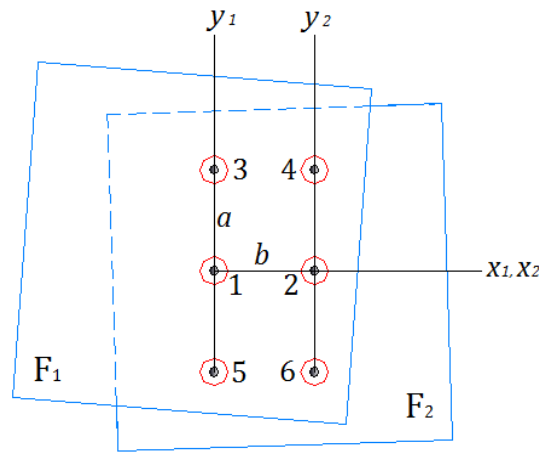


Fig. 6.2 Dispunerea standard a punctelor

$$\left\{ \begin{array}{l} dX_1 = db_{x_1} - \frac{x}{h} \cdot db_{z_1} - \frac{x \cdot y}{h} \cdot d\omega_1 + h \cdot \left(1 + \frac{x^2}{h^2}\right) \cdot d\varphi_1 - y \cdot dx_1 \\ dY_1 = db_{y_1} - \frac{y}{h} \cdot db_{z_1} - h \cdot \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) \cdot d\omega_1 + \frac{x \cdot y}{h} \cdot d\varphi_1 + x \cdot dx_1 \\ dX_2 = db_{x_2} - \frac{x-b}{h} \cdot db_{z_2} - \frac{(x-b) \cdot y}{h} \cdot d\omega_2 + h \cdot \left[1 + \frac{(x-b)^2}{h^2}\right] \cdot d\varphi_2 - y \cdot dx_2 \\ dY_2 = db_{y_2} - \frac{y}{h} \cdot db_{z_2} - h \cdot \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) \cdot d\omega_2 + \frac{(x-b) \cdot y}{h} \cdot d\varphi_2 + (x-b) \cdot dx_2 \end{array} \right. \quad (6.3)$$

Paralaxele P_y se obțin prin relația:

$$dY_1 - dY_2 = -P_y \quad (6.4)$$

Pentru a putea fi măsurate sau eliminate, paralaxele transversale pot fi făcute vizibile la aparatele de stereorestituție.

Se deosebesc două metode distincte de orientare relativă:

I. independentă

II. în serie.

Metodele utilizate, indiferent de modul în care se realizează, pot fi clasificate în trei grupe principale:

a. metode optico-mecanică, caracterizate prin acționarea directă pe cale optico-mecanică asupra elementelor de orientare;

b. metode numerice, în cadrul cărora modificările care trebuie aduse elementelor de orientare sunt determinate prin calcul din măsurători ale paralaxelor transversale;

c. metode grafice care presupun obținerea prin intermediul unor diagrame (construite pe baza observațiilor efectuate asupra paralaxelor) a modificărilor care trebuie aduse elementelor de orientare.

Ecuțiile de bază ale paralaxelor pentru cazul orientării relative independente, respectiv pentru cel al orientării relative în serie sunt:

$$P_y = -x \cdot d\chi_1 + (x-b) \cdot d\chi_2 - \frac{x-y}{h} \cdot d\varphi_1 + \frac{(x-b) \cdot y}{h} \cdot d\varphi_2 + \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) \cdot h \cdot d\omega_2 \quad (6.5)$$

$$P_y = db y_2 + (x-b) \cdot d\chi_2 - \frac{y}{h} \cdot db z_2 + \frac{(x-b) \cdot y}{h} \cdot d\varphi_2 + \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) \cdot h \cdot d\omega_2 \quad (6.6)$$

Elementele de orientare pot fi determinate dacă se cunosc paralaxele transversale din cinci puncte ale stereomodelului.

Relațiile de determinare a acestor paralaxă transversale se constituie într-un sistem de ecuații a cărui soluție este determinată numai dacă determinantul său este diferit de zero.

Când determinantul este nul soluția orientării relative este nedefinită. Acest lucru se întâmplă atunci când 5 din cele 6 puncte caracteristice ale stereomodelului se înscriu pe o suprafață numită suprafață critică. Suprafața critică este în general un hiperboloid a cărui bază este o generatrice iar axa principală are aproape direcția axei x, fără a coincide însă cu aceasta. Suprafața hiperboloidului poate degenera într-un con sau cilindru.

În practică pot apărea cazuri de nedeterminare atunci când se fotografiază o vale și baza de fotografiere este de-a lungul văii. În acest caz cele două centre de perspectivă și punctele terenului se pot găsi în apropierea suprafeței unui cilindru, iar modelul stereoscopic deși nu are paralaxă verticale, nu redă corect diferențele de nivel.

II. Orientarea absolută

După efectuarea orientării relative se obține un model spațial care are însă o scară oarecare și o poziție arbitrară în spațiu față de sistemul de coordonate geodezice al zonei pe care o reprezintă.

Întrucât stereomodelul va fi folosit la întocmirea unui plan topografic este necesar ca stereomodelul să fie încadrat în sistemul de coordonate geodezice și la o scară impusă, adică orientarea absolută a stereomodelului.

Orientarea exterioară absolută se execută în două faze:

1. aducerea la scară a stereomodelului;
2. orizontalizarea stereomodelului.

Aducerea în scară a stereomodelului se realizează înaintea orizontalizării și se

finalizează după orizontalizarea stereomodelului.

Înainte de orizontalizare se face o punere în scară aproximativă, pe două repere, urmărind modul în care se încadrează în cercul microocularului ceilalți reperi din cadrul stereomodelului, depistându-se reperele greșit calculate, greșit raportate pe suport, sau greșit identificate pe fotogramă.

Pentru punerea în scară sunt necesare două repere cu coordonate cunoscute care se vor raporta pe un suport nedeformabil.

Cele două repere trebuie să fie amplasate pe cât posibil pe diagonalele stereomodelului, la distanță cât mai mare unul față de celălalt, să poată fi punctate cu precizie, să reprezinte detalii planimetrice punctiforme clare, situate la sol și pe un teren cât mai plan.

Atunci când stereomodelul are înclinări mari ($> 3^\circ$), se va opera mai întâi o orizontalizare aproximativă a stereomodelului, iar apoi se va trece la punerea în scară.

Dacă între scara inițială a stereomodelului și cea la care trebuie adus este o diferență mare, necesitând o mărire a scării inițiale, apar paralaxe transversale care impun și o refacere a orientării relative.

Relațiile referitoare la orientarea relativă nu includ coordonatele punctelor în spațiul obiect. Modelul rezultat are o scară și o poziție spațială arbitrară.

Coordonatele X', Y', Z' ale modelului trebuie deci transformate în sistemul de coordonate al terenului (X, Y, Z) (Fig. 6.3).

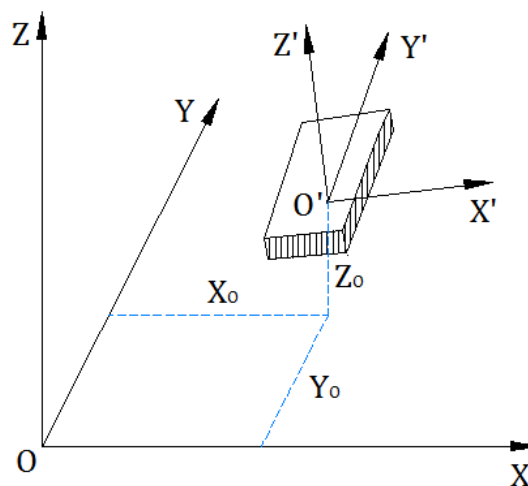


Fig. 6.3 Transformarea coordonatelor stereomodelului în sistemul de coordonate al terenului

Relațiile de transformare sunt:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mu \cdot R \cdot \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (6.7)$$

unde:

μ – factorul de scară;

R – matricea de rotație depinzând de trei parametri independenți (rotațiile φ, ω, χ);

X_0, Y_0, Z_0 – translații ce reprezintă coordonatele originii sistemului modelului în raport

cu originea sistemului de coordonate teren.

Orientarea absolută depinde de șapte parametri. Pentru determinarea acestora este necesară cunoașterea coordonatelor planimetrice (X, Y) a două puncte și a cotei (Z) a altor trei puncte, precum și a coordonatelor-model ale acestora. De obicei se folosesc două repere complete (X, Y, Z) și unul altimetric (Z) . Dacă se folosesc mai multe repere complete se poate efectua o compensare a orientării absolute.

Orientarea absolută analitică

Se dispune de cel puțin trei repere complete (X, Y, Z) . Pentru determinarea și compensarea elementelor de orientare absolută sunt folosite relațiile de transformare (6.7) care depind de șapte parametri independenți. În prima etapă se calculează valorile aproximative.

Determinarea valorilor aproximative

Pentru cazul fotogramelor aproximativ nadirale înclinările φ și ω sunt mici, putând fi considerate nule; matricea R depinde doar de rotația χ :

$$R_0 = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\sin \chi & 0 \\ \sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

Dezvoltând relațiile de transformare (6.7) și ținând seama de relația (6.8) se obține:

$$\begin{aligned} X &= (\mu \cos \chi) \cdot X' - (\mu \sin \chi) \cdot Y' + X_o \\ Y &= (\mu \cos \chi) \cdot Y' + (\mu \sin \chi) \cdot X' + Y_o \\ Z &= \mu \cdot Z' + Z_o \end{aligned} \quad (6.9)$$

Particularizăm primele două ecuații pentru două puncte de sprijin și se scad relațiile corespunzătoare pentru eliminarea translațiilor X_o, Y_o :

$$\begin{cases} X_2 - X_1 = (\mu \cos \chi) \cdot (X'_2 - X'_1) - (\mu \sin \chi) \cdot (Y'_2 - Y'_1) \\ Y_2 - Y_1 = (\mu \cos \chi) \cdot (Y'_2 - Y'_1) + (\mu \sin \chi) \cdot (X'_2 - X'_1) \end{cases} \quad (6.10)$$

Notăm:

$$X_2 - X_1 = \Delta X; \quad Y_2 - Y_1 = \Delta Y; \quad X'_2 - X'_1 = \Delta X'; \quad Y'_2 - Y'_1 = \Delta Y' \quad (6.11)$$

Cu aceste notații se rezolvă sistemul de ecuații (6.10) în raport cu necunoscutele $(\mu \cos \chi)$ și $(\mu \sin \chi)$ și se obține:

$$\mu \cos \chi = \frac{\begin{vmatrix} \Delta X & -\Delta Y' \\ \Delta Y & \Delta X' \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta X' & -\Delta Y' \\ \Delta Y' & \Delta X' \end{vmatrix}} = \frac{\Delta X \cdot \Delta X' + \Delta Y \cdot \Delta Y'}{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2} \quad (6.12)$$

$$\mu \sin \chi = \frac{\begin{vmatrix} \Delta X' & \Delta X \\ \Delta Y' & \Delta Y \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta X' & -\Delta Y' \\ \Delta Y' & \Delta X' \end{vmatrix}} = \frac{\Delta Y \cdot \Delta X' - \Delta X \cdot \Delta Y'}{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2} \quad (6.12)$$

Factorul de scară aproximativ μ_0 se poate obține cu ajutorul valorilor $\mu \cos \chi$ și $\mu \sin \chi$ (calculate cu relațiile anterioare):

$$\mu_0 = \sqrt{(\mu \cos \chi)^2 + (\mu \sin \chi)^2} \quad (6.13)$$

μ_0 se mai poate determina și ca raport al distanțelor corespunzătoare din teren și din model. Dacă se folosesc mai mult de trei puncte de sprijin, μ_0 va rezulta ca o medie a valorilor obținute din diferite combinații, fiind posibilă depistarea și eliminarea eventualelor greșeli grosolane în coordonatele unor puncte de sprijin.

Având determinat factorul de scară μ se pot determina valorile $\cos \chi$ și $\sin \chi$ cu relațiile (6.12) și (6.13), fiind astfel determinată și rotația aproximativă χ_0 , respectiv matricea de rotație R_0 .

Valorile aproximative ale translațiilor $X_0^{(0)}$, $Y_0^{(0)}$, $Z_0^{(0)}$ se obțin ca medii ale valorilor obținute prin particularizarea relațiilor (6.9) obținute prin dezvoltarea relațiilor de transformare, pentru punctele de sprijin cunoscute (utilizând μ_0 și R_0).

În final se calculează valorile $X^{(0)}$, $Y^{(0)}$, $Z^{(0)}$ ale coordonatelor modeltransformate, folosind valorile aproximative ale parametrilor de orientare:

$$\begin{pmatrix} X^{(0)} \\ Y^{(0)} \\ Z^{(0)} \end{pmatrix} = \mu_0 \cdot R_0 \cdot \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0^{(0)} \\ Y_0^{(0)} \\ Z_0^{(0)} \end{pmatrix} \quad (6.14)$$

Compensarea orientării absolute

Valorile $X^{(0)}$, $Y^{(0)}$, $Z^{(0)}$ obținute cu relația (6.14) sunt destul de apropiate de coordonatele teren (X, Y, Z) ale punctelor de reper. Vor trebui calculate corecții diferențiale ale parametrilor de orientare. Compensarea se face într-un proces iterativ.

Redresarea fotogramelor

Fotogramele rezultate în urma aerofotografierii sunt fotograme înclinate; transformarea acestora în fotograme nadirale la o scară dată se numește redresare.

Practic fotograma este adusă în poziția din momentul preluării.

Redresarea fotogramelor se poate realiza în mai multe moduri:

a. redresarea grafică – se aplică în cazul terenurilor plane și rezolvă în mod simplu problemele de transformare a punctelor de pe fotograma înclinată în puncte ale fotogramei nadirale. Pe baza unor rețele proiective realizate atât pe fotogramă câtși pe plan se pot transpune un număr redus de puncte de pe fotogramă pe un plan ce trebuie reactualizat;

b. fotoredresarea – rezolvă atât transformarea proiectivă cât și punerea în scară cu ajutorul unor aparate opto-mecanice numite *fotoredresoare*;

c. redresarea diferențială – aplicată în cazul terenurilor cu diferențe mari de nivel; constă în parcurgerea fotogramei pe fâșii, cu proiectarea unor porțiuni mici ale fotogramei pe un plan orizontal, care își modifică poziția în funcție de diferențele de nivel;

d. redresarea analitică – s-a impus în condițiile dezvoltării tehnicii de calcul; relațiile de bază pentru algoritmul de calcul pleacă de la condiția de coliniaritate între punctul din teren, centrul de perspectivă și imaginea sa pe fotogramă.

Condițiile redresării

Condițiile care trebuie respectate la redresarea fotogramelor pot fi de natură geometrică sau de natură optică.

a. Condițiile geometrice ale redresării:

a.1. centrul de proiecție trebuie să se găsească în planul vertical principal al fotogramei, pe dreapta ce trece prin punctul de fugă L' și paralelă cu planul de redresare (planul mesei de proiecție); planul mesei de proiecție trebuie să fie perpendicular pe planul vertical principal al fotogramei;

a.2. distanța de la centrul de proiecție până la punctul principal de fugă L' trebuie să fie egală cu $f/\sin \nu$;

a.3. distanța de la punctul principal de fuga L' până la dreapta de intersecție a planului mesei de proiecție cu planul fotogramei să fie egală cu $H/M\sin \nu$.

Nerespectarea primelor două condiții duce la deformarea imaginii și la neclaritatea acesteia. Nerespectarea celei de-a treia condiții modifică scara redresării.

b. Condițiile optice ale redresării:

b.1. planul fotogramei și cel al mesei de proiecție trebuie să treacă printr-o pereche de puncte conjugate optice, situate pe axa optică a obiectivului;

b.2. cele două plane trebuie să se intersecteze în planul principal al obiectivului (condiția Scheimpflug).

În figura 6.4 sunt reprezentate grafic, reunite, condițiile geometrice și optice ale redresării:

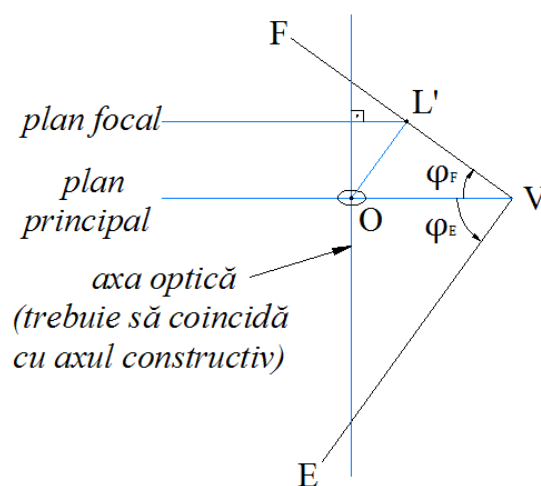


Fig. 6.4 Condițiile redresării

1. punctul nodal O (centrul de proiecție) al obiectivului trebuie să se găsească în planul vertical principal, la distanța $f/\sin \nu$ față de punctul de fugă L' ;
2. punctul L' trebuie să fie dispus în planul focal al obiectivului;
3. planul principal al obiectivului trebuie să treacă prin dreapta de intersecție a planului fotogramei cu planul mesei de proiecție, situat la distanța $H/M\sin \nu$ de linia orizontului;
4. planul mesei de proiecție trebuie să fie paralel cu dreapta OL' ;

Metode de redresare

Fotoredresarea

Aparatele optico-mecanice cu ajutorul cărora se realizează fotoredresarea se numesc fotoredresatoare. După principiul pe care se bazează construirea lor fotoredresatoarele se grupează în două categorii:

- de categoria I – reconstruiesc fasciculul din momentul preluării, păstrându-le elementele orientări interioare; în prezent nu se mai utilizează;
- de categoria a II-a – reconstruiesc fasciculul de la preluare, fără utilizarea elementelor orientări interioare; se pot redresa fotograme preluate cu camere cu distanțe focale diferite.

Fiecare tip de fotoredresator are în componență un sistem de dirijare a mișcărilor pentru port-cliseu (în care se introduce fotograma), un obiectiv și o masă de proiecție, montate astfel încât să fie îndeplinite condițiile geometrice și optice ale redresării. Dreapta care trece prin punctele nodale ale obiectivului și pe direcția căreia se deplasează obiectivul se numește axă constructivă și are de obicei poziția verticală.

Deplasarea punctului principal față de axa constructivă a aparatului se numește *descentrare liniară* e și este dată de relația:

$$e = \frac{f}{\sin \nu} \cdot \left(\frac{\cos \varphi_E}{\cos \varphi_F} - \cos \nu \right) \quad (6.15)$$

unde:

φ_E – unghiul pe care îl face planul obiectivului cu planul mesei de proiecție;

φ_F – unghiul pe care îl face planul portcliseului cu planul obiectivului.

În cazul fotogramelor nadirale φ_E și φ_F sunt mici și se poate scrie relația simplificată:

$$e = \frac{\nu}{2f \cdot \rho} \cdot \left(f^2 - F_0^2 \cdot \frac{K_0^2 - 1}{K_0^2} \right) \quad (6.16)$$

unde:

F_0 – distanța focală a obiectivului fotoredresatorului;

K_0 – coeficient de scară pe direcția scărilor nedeforimate;

$\rho'' = 206265$ $\rho^{cc} = 636620$.

Unghiul format de axa optică principală a obiectivului cu axa secundară cetrece prin punctul principal al fotogramei poartă numele de *descentrare unghiulară*, ε_0 și este dat de relația:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_0 = \frac{\cos \varphi_E - \cos \varphi_F \cdot \cos \nu}{\sin \varphi_E - \sin \varphi_F \cdot \cos \nu} \quad (6.17)$$

O relație simplificată pentru ε_0 este:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2} \cdot \nu \cdot K_0 \cdot \left[\frac{f}{F_0 \cdot (1 + K_0)} + \frac{F_0}{f} \cdot (1 - K_0) \right] \quad (6.18)$$

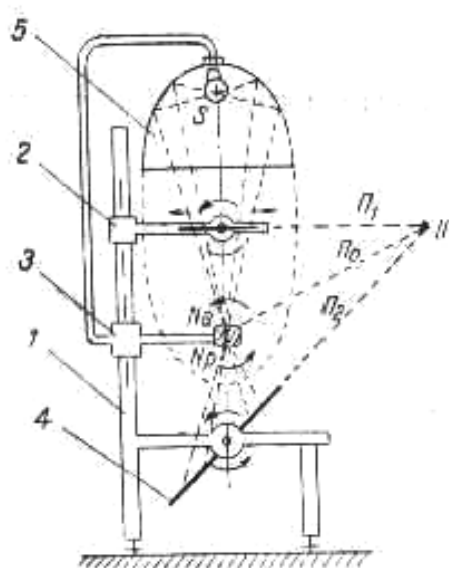
Relațiile de determinare a descenterii liniare e (6.15) și a descenterii unghiulare ε_0 (6.17) permit determinarea elementelor de redresare în funcție de elementele de orientare ale fotogramei și realizarea fotoredresării directe.

Fotoredresarea indirectă se face pe baza a cel puțin patru puncte de sprijin (repere fotogrammetrice), cu condiția ca trei dintre acestea să nu fie coliniare.

Tipuri de fotoredresatoare

a. fotoredresatorul *SEG V* – un fotoredresator universal, complet automat, făcând parte din categoria a II – a. Este construit de firma „Opton” din Germania. Are cinci grade de libertate: înclinarea mesei de proiecție pe două direcții, înclinarea fotogramei după două direcții, deplasarea portclîșeului față de obiectiv și masa de proiecție (scara). Axa optică coincide cu axul constructiv. Formatul fotogramei 24x24cm, mărirea 0,5 ÷ 6,5X, $f=180\text{mm}$, iluminare uniformă;

b. fotoredresorul *Wild E4* – are cinci grade de libertate: înclinarea mesei de proiecție după două direcții, descenterările e_x și e_y ale fotogramei, deplasarea portclîșeului în raport cu obiectivul și masa de proiecție (scara). Formatul maxim al fotogramei 24x24 cm, mărirea 0,8 ÷ 7X, $f=150\text{mm}$, iluminare uniformă;

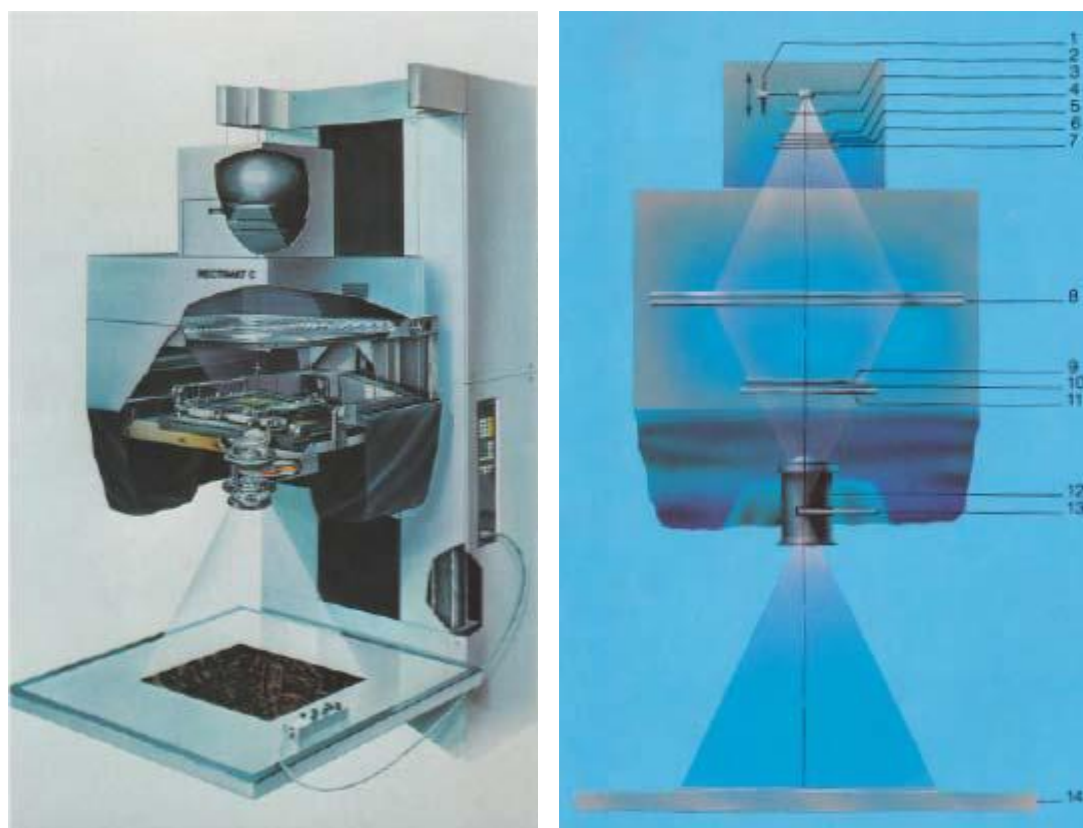


1. dispozitiv de susținere a părților principale
2. dispozitiv de susținere și fixare a fotogramei
3. obiectiv de proiecție
4. masa de proiecție
5. sursa de lumină

Fig. 6.5 Fotoredresator – schema de principiu (sursa: Teodor Toderaș, 2007. Fotogrammetrie)

c. fotoredresatorul *RECTIMAT C* – fotoredresator de precizie, complet automatizat, destinat redresării fotogramelor aeriene sau terestre. Are cinci grade de libertate: înclinarea mesei de proiecție pe două direcții, descenterările e_x și e_y ale fotogramei, deplasarea portcliseului în raport cu obiectivul și masa de proiecție (scara). Formatul maxim al fotogramei 30x30cm, mărirea $0,8 \div 18X$, $f = 150\text{mm}$, 70mm , formatul mesei de proiecție 110x110cm, iluminarea uniformă; unitatea de control programabilă realizează: autocontrolul mișcărilor, setarea timpului de expunere, setarea deschiderii diafragmei, schimbarea filtrelor color, acționarea pompei de vacuum și introducerea elementelor de redresare în cazul redresării directe.

Schema de principiu a unui fotoredresator este prezentată în figura 6.5, iar fotoredresatorul *RECTIMAT C* este prezentat în figurile 6.6.



1. dispozitiv de reglarea pe verticală a lămpii
2. lampă cu halogen
3. filtru de protecție la căldură
4. filtru gradient gradat
5. filtru gradat concentric
6. difuzor
7. lentila de redistribuire
8. condensator Fresnel
9. placă de sticlă acoperitoare
10. imagine de măsurare (fotograma)
11. placă cu marca de măsurare
12. obiectiv
13. dispozitiv de schimbare filtru membrană
14. masa de proiecție

Fig. 6.6 Fotoredresatorul *RECTIMAT C*

(sursa: http://www.tontrennung.de/assets/documents/CarlZeiss/Prospekte/CZJ_1984_RectimatC.pdf)

Dispozitive de dirijare

Elementele de redresare nu sunt independente, unele putând fi exprimate în funcție de altele. Acest lucru permite construirea unor dispozitive care controlează automat variația unui element în funcție de modificarea celorlalte elemente de care

depinde. Cea mai largă utilizare o au inversorii care rezolvă condițiile optice ale redresării. Se grupează în:

– inversori de scară – rezolvă prima condiție optică, făcând legătura între deplasarea obiectivului și a negativului de-a lungul axului constructiv al aparatului, asigurând conjugarea optică a punctelor din planul negativului și a mesei de proiecție (ex. – inversorul rectangular, inversorul cu punct mijlociu sau cu panglică, inversorul Peaucellier de tip paralelogram)

– inversori de perspectivă – asigură intersecția celor trei plane după aceeași dreaptă spațială (inversorul tangențial – dă o rezolvare aproximativă a condiției Scheimpflug, inversorul liniar Carpentier – rezolvă riguros condiția Scheimpflug).

Metode de fotoredresare

I. Fotoredresarea directă

Elementele de redresare se calculează pe baza elementelor orientării exterioare, rezultate în urma compensării aerotriangulației analitice. Se verifică și se rectifică inversorii, se stabilesc pozițiile de origine pentru gradele de libertate și se introduc elementele de redresare calculate, obținându-se fotograma redresată la o anumită scară, pe masa de proiecție. Fotograma trebuie centrată cu grijă în portclișeul fotoredresatorului, cu ajutorul unui dispozitiv special montat pe acesta folosind indicii de referință.

II. Fotoredresarea indirectă.

Fotograma este redresată pe baza a cel puțin patru puncte reper alese către colțurile fotogramei. În acest fel câte două puncte vor servi și pentru redresarea fotogramelor vecine, asigurându-se atât legătura între fotogramele vecine cât și un număr mai mic de puncte reper de coordonate cunoscute necesar pentru redresare. În realitate aerotriangulația asigură coordonate pentru un număr de 6÷9 puncte pe fiecare fotogramă. Punctele reper sunt marcate pe fotograma negativă, fiind raportate apoi pe un suport de redresare nedeformabil la scara dorită.

Redresarea se execută în cameră obscură și se desfășoară până la suprapunerea perfectă a punctelor luminoase proiectate pe masa de proiecție (prinreperele marcate pe fotogramă) peste punctele de reper de pe suportul de redresare. Suportul de redresare se înlătură apoi și se așează materialul fotografic destinat copierii, care trebuie bine întins. După stabilirea valorilor pentru deschiderea relativă a diafragmei și pentru timpul de expunere, se expune materialul fotografic și apoi se developează. Prin operațiile de dezvoltare și uscarea hârtia fotografică se contractă cu cca 2÷3mm la coala de 50x60cm. Pentru a limita la minimum această contracție, care induce erori în poziția detaliilor planimetrice, se umezește hârtia fotografică înaintea expunerii, iar sub suportul de redresare se introduce o folie cu grosimea calculată funcție de contracția hârtiei, folie care după redresare se înlătură. Pentru expunere, hârtia fotografică se așează direct pe masa de proiecție a aparatului.

III. Fotoredresarea pe zone

Se aplică în cazul terenurilor cu denivelări mari (deși în aceste cazuri nu este indicată redresarea). Pentru micșorarea influențelor diferențelor de nivel, redresarea se

execută pe planuri (zone) succesive (Fig. 6.7).

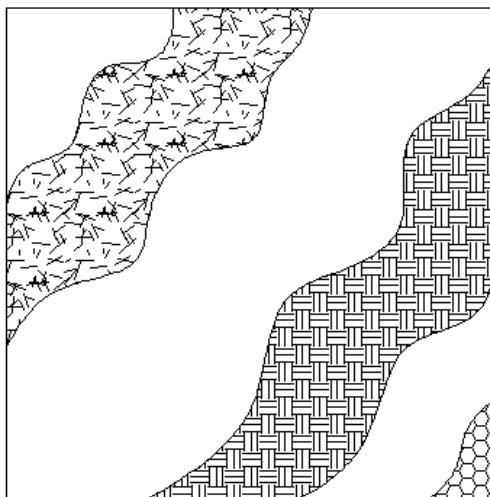


Fig. 6.7 Fotoredresarea pe zone

Planurile succesive cuprind o porțiune de fotogramă redresată în interiorul căreia deformațiile nu depășesc o anumită valoare dată. Acestea sunt de obicei porțiuni cuprinse între două curbe de nivel.

Redresarea analitică

Este aplicată tot mai des datorită dezvoltării actuale a tehnicii de calcul. Deducerea relațiilor de bază se face pornind de la condiția de coliniaritate dintre punctul din teren, centrul de perspectivă și imaginea punctului pe fotogramă. Se calculează, pentru fotograma exploatată, cele șase elemente de orientare exterioară (trei rotații: φ, ω, χ , ce determină matricea de rotații și trei translații: X_0, Y_0, Z_0 , reprezentând coordonatele centrului de perspectivă al fotografei). Elementele de orientare exterioară se calculează pe baza a cel puțin 5 puncte cu coordonate-teren cunoscute și coordonate-imagine măsurate, cu condiția ca aceste puncte să nu fie coliniare. Folosind cele șase elemente de orientare determinate, se pot calcula coordonatele teren ale oricărui punct de pe fotogramă, plecând de la coordonatele imagine ale acestuia.

Întocmirea fotoplanului și fotoschemei

Întocmirea fotoplanului

Fotoplanul reprezintă produsul de bază al exploatării individuale a fotogramelor. Fotoplanul se întocmește pe trapeze sau pe obiective de lucru și se realizează în următoarele etape (Fig. 6.8) :

I. pregătirea suportului – se raportează (la plotter sau cu coordonatograful) punctele de reper (determinate clasic sau cu aparatură modernă), punctele obținute prin aerotriangulație, cadrul trapezului, vecinii, scara, caroiajul kilometric, etc.

II. pregătirea fotogramelor redresate – se verifică scara și calitatea fotografică a

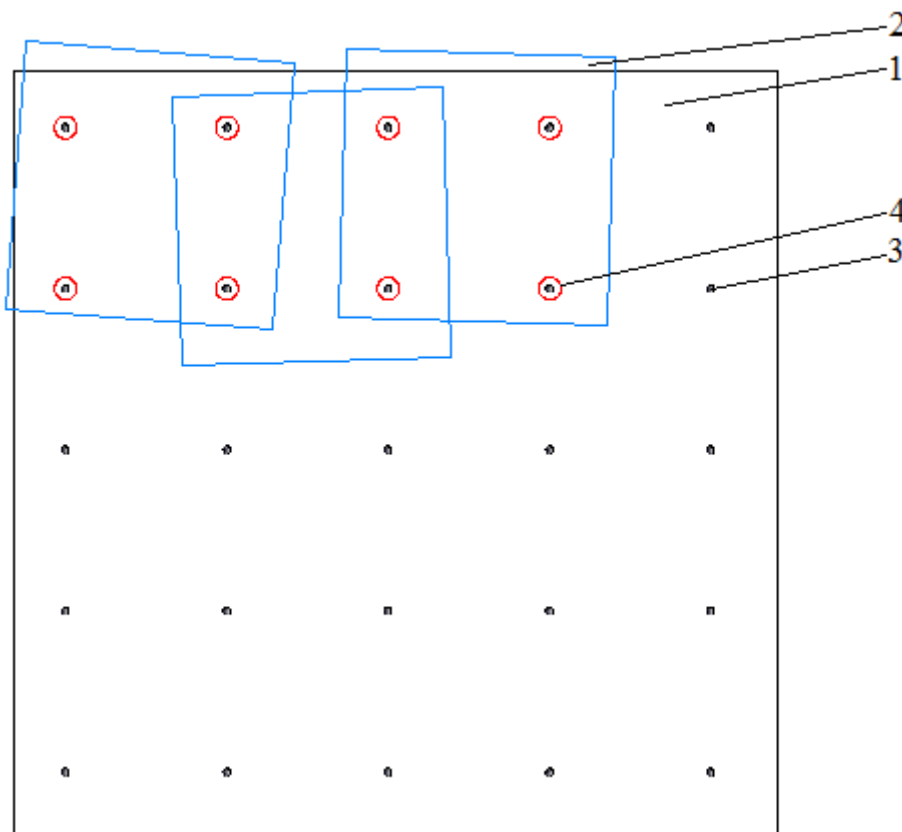
fotogramelor redresate. Cu ajutorul unei „preducele” pe fiecare fotogramă se realizează perforații cu diametrul de 1mm, centrate pe imaginile punctelor de reper.

III. montarea fotogramelor: atunci când trapezul se realizează din mai multe fotograme, montajul acestora începe de la nord și din stânga.

Se așează prima fotogramă pe suport. Prin perforații trebuie să se vadă reperele de pe suport, perfect centrate. Dacă abaterea este mai mare de 0,5 mm, fotograma se redresează din nou. Se imobilizează fotograma cu ajutorul unor greutateți. A doua fotogramă se potrivește pe suport, urmărind continuitatea detaliilor de pe o fotogramă pe cealaltă, apoi se imobilizează și a doua fotogramă. Cele două fotograme se taie cu un bisturiu, după o linie trasată prin mijlocul zonei de acoperire. Linia de tăiere va urmări detalii de mai mică importanță și să nu intersecteze în unghi ascuțit căile de comunicații sau râurile. Fâșiile tăiate se păstrează pentru verificarea fotoplanului.

Cu ajutorul unui adeziv care nu conține apă (pentru a se evita deformarea fotogramelor) fotogramele se lipesc cu atenție, verificând racordarea detaliilor planimetrice.

Se procedează la fel cu celelalte fotograme.



1. trapez (fotoplan) 2. fotogramă 3. punct de reper
4. perforație cu $\phi=1\text{mm}$ pentru centrarea fotogramelor pe punctele reper

Fig. 6.8 Întocmirea fotoplanului

După lipirea tuturor fotogramelor se fac tăieturi pe conturul laturilor trapezului, lăsând o fâșie de racordare de 1 cm. Pe foaia de fotoplan se înscriu: nomenclatura

trapezului și a trapezelor vecine, scara numerică și grafică, toponimia, data aerofotografierii, data execuției, executantul, etc.

Verificarea foilor de fotoplan și stabilirea preciziei se realizează cu ajutorul punctelor de sprijin, măsurând abaterile de la redresare, asamblarea fotogramelor și racordarea între trapeze. Rezultatele se consemnează în carnete speciale.

Abaterile între centrele perforațiilor și punctele de reper nu trebuie să depășească 0,5 mm.

Racordarea între fotograme se verifică din 2 în 2cm, iar nepotrivirea trebuie să fie mai mică de 0,7 mm.

Racordarea între trapeze se verifică din 2 în 2cm, iar nepotrivirea trebuie să fie mai mică de 1mm.

Inconveniente rezultate din racordarea a două sau mai multe fotograme pot fi înlăturate prin realizarea fotoplanului dintr-o singură fotogramă, proiectând zborul de aerofotografiere astfel încât centrul fotogramei să coincidă cu centrul trapezului la scara dorită. Operațiile sunt similare cu cele prezentate anterior, exceptând racordarea fotogramelor.

Beneficiarii primesc copii după fotoplanul original.

Întocmirea fotoschemei

Fotoschema este un produs asemănător cu fotoplanul dar de precizie redusă. Obținerea fotoschemei se face printr-un procedeu asemănător cu cel de obținere a fotoplanului, dar punctele de reper utilizate sunt determinate prin aerotriangulație grafică sau sunt luate de pe o hartă. Redresarea este mai puțin pretențioasă decât la fotoplan. Fotoschema se întocmește pentru zone greu accesibile, în care măsurătorile de teren pentru determinarea reperelor fotogrammetrice sunt greu de realizat.

Capitolul 7

Fotogrammetria terestră

Fotogrammetria terestră se referă la partea măsurătorilor fotogrammetrice în care stațiile de fotografiere sunt în contact fizic cu terenul.

Fotogrammetria terestră prezintă următoarele caracteristici:

- axele de fotografiere sunt dispuse orizontal sau aproape de orizontal;
- elementele orientări exterioare (pozițiile stațiilor și orientările axelor de fotografiere) sunt precis cunoscute; orientările axelor de fotografiere sunt stabilite în raport cu bazele de fotografiere;
- distanțele de fotografiere variază între aproximativ 1÷500m, fiind delimitate de caracteristicile constructive ale camerei și condițiile de precizie ale determinărilor;
- aparatura de fotografiere prezintă caracteristici constructive care permit înregistrarea elementelor orientării exterioare și prelucrarea fotogramelor în domeniul distanțelor apropiate;
- obiectele fotografiate trebuie să aibă o desfășurare predominantă verticală.

Fotogrammetria terestră are aplicații atât în domeniul topografic cât și în alte diverse domenii netopografice (arhitectură, mecanică, construcții, probleme de trafic – circulație, medicină, antropometrie, biologie, zootehnie, etc.).

Fotogramele terestre pot fi exploatate prin procedee monofotogrammetrice (mai puțin) sau stereofotogrammetrice.

Lungimea bazei de fotografiere B se stabilește în funcție de două aspecte:

a. respectarea limitelor de variație ale raportului dintre bază și distanța de fotografiere (raportul bazei), respectiv între $1/4$ și $1/20$;

b. eroarea maximă în coordonata Y a unui punct al obiectului fotografiat, care este influențată de eroarea de măsurare a paralaxei orizontale și de caracteristicile camerei de fotografiere.

Relațiile de determinare a coordonatelor punctelor în stereofotogrammetria terestră depind de dispunerea camerelor în momentul preluării.

Se deosebesc patru cazuri de fotografiere stereoscopică, după poziția axelor celor două camere:

I. Axe de fotografiere convergente (cazul cel mai general): axele de fotografiere sunt orizontale și fac unghiurile φ_1 și φ_2 cu normala la bază. Coordonatele punctelor obiectului sunt date de relațiile:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y = f \cdot B \cdot \frac{(x_2 \sin \varphi_1 + f \cos \varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + (x_2 \cos \varphi_1 - f \sin \varphi_1) \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{p \cdot f \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + (x_1 x_2 + f^2) \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \\ X = x_1 \cdot \frac{Y}{f} \\ Z = z_1 \cdot \frac{Y}{f} \end{array} \right. \quad (7.1)$$

$p = x_1 - x_2$ - paralaxa orizontală.

II. Axe de fotografiere paralel-deviate: axele de fotografiere sunt orizontale și fac unghiul φ cu normala la bază. Coordonatele punctelor obiectului sunt date de relațiile:

$$\begin{cases} Y = \frac{f \cdot B}{p} \cdot \left(\cos \varphi + \frac{x_2}{f} \right) \\ X = x_1 \cdot \frac{Y}{f} \\ Z = z_1 \cdot \frac{Y}{f} \end{cases} \quad (7.2)$$

III. Axe de fotografiere normal convergente: axele de fotografiere sunt orizontale; axa camerei din stânga se consideră normală la bază, iar axa camerei din dreapta face cu normala la bază unghiul φ . Relațiile de calcul pentru coordonatele punctelor obiectului sunt:

$$\begin{cases} Y = f \cdot B \cdot \frac{f \cos \varphi + x_2 \sin \varphi}{p \cdot f \cdot \cos \varphi + (x_1 x_2 + f^2) \cdot \sin \varphi} \\ X = x_1 \cdot \frac{Y}{f} \\ Z = z_1 \cdot \frac{Y}{f} \end{cases} \quad (7.3)$$

IV. Axe de fotografiere normale la bază – cazul cel mai frecvent (cazul normal). Axele de fotografiere sunt orizontale. Coordonatele punctelor obiectului se determină cu relațiile:

$$\begin{cases} Y = B \cdot \frac{f}{p} \\ X = x_1 \cdot \frac{Y}{f} = B \cdot \frac{x_1}{p} \\ Z = z_1 \cdot \frac{Y}{f} = B \cdot \frac{z_1}{p} \end{cases} \quad (7.4)$$

Precizia coordonatelor punctului obiectului în cazul normal de fotografiere este dată de relațiile:

$$\begin{cases} m_x = \pm \frac{X \cdot Y}{B \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{f^2}{Y^2} \cdot m_B^2 + \frac{B^2}{X^2} \cdot m_x^2 + m_p^2} \\ m_y = \pm \frac{Y}{B \cdot f} \cdot \sqrt{f^2 \cdot m_B^2 + B^2 \cdot m_f^2 + Y^2 \cdot m_p^2} \\ m_z = \pm \frac{Y \cdot Z}{B \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{f^2}{Y^2} \cdot m_B^2 + \frac{B^2}{Z^2} \cdot m_z^2 + m_p^2} \end{cases} \quad (7.5)$$

unde:

m_B – eroarea de măsurare a bazei de fotografiere;

m_f – eroarea distanței focale;
 m_p – eroarea de măsurare a paralaxei orizontale;
 m_x, m_z – erorile de măsurare ale coordonatelor imagine.

Lucrări care se realizează la preluările efectuate prin stereofotogrammetrie terestră

Pentru obținerea planului topografic sau a planului restituit a unei zone prin stereofotogrammetrie terestră este necesar să se realizeze o acoperire stereoscopică adecvată a întregii zone care urmează a fi ridicată, prevederea unui număr suficient de puncte de reper și realizarea condițiilor pentru obținerea unei precizii prestabilite.

Pentru aceasta este necesar să se întocmească un proiect de fotografiere prin care să se stabilească:

- limitele zonei de fotografiat;
- alegerea stațiilor de fotografiere și stabilirea lungimii bazelor funcție de precizia impusă, aparatura utilizată și condițiile din teren;
- zonele de acoperire orizontală și verticală;
- necesarul de puncte de reper;
- posibilitățile și metodele de legare a punctelor de stație și reperelor de rețeaua de sprijin din zona lucrărilor.

Definitivarea proiectului se face în urma recunoașterii terenului.

Odată proiectul de fotografiere definitivat se trece la realizarea lucrărilor de teren care constau în efectuarea fotografierii și a lucrărilor topo – geodezice aferente.

Fotogramele obținute sunt exploatate în cadrul lucrărilor de laborator printr-o procedură care se realizează:

- pregătirea materialului fotografic (obținerea negativelor, diapozitivelor, copiilor de contact);
- pregătirea foilor de hartă și exploatarea stereogramelor.

Aparatura de exploatare utilizată se alege în funcție de metoda de exploatare, precizia pe care dorim să o obținem și de condițiile tehnico-economice existente.

Amplasarea punctelor de stație și a bazelor de fotografiere

Prin coordonatele lor, punctele de stație din care se preiau fotogramele reprezintă elemente de orientare exterioară pentru ridicările fotogrammetrice respective, motiv pentru care precizia de determinare a acestora trebuie să fie ridicată.

Totodată punctele de stație trebuie să fie stabile în timp.

În cazul stereofotogrammetriei terestre, pe lângă punctele de stație trebuie să se amplaseze și bazele de fotografiere.

La alegerea locului de amplasare a acestora trebuie respectate condițiile:

- fiecare bază să permită fotografierea unei zone cât mai mare, fără porțiuni ascunse, fiind de preferat amplasamentele care oferă un câmp mare de vizibilitate;
- direcția bazelor să fie paralelă cu direcția principală a obiectului fotografiat, fiind evitate astfel deformațiile de convergență;

- distanța dintre baza de fotografiere și obiectul fotografiat va fi aleasă funcție de metoda utilizată, scara de redactare și condițiile de vizibilitate.

Dacă este posibil, bazele de fotografiere vor fi amplasate în terenuri mai înalte decât cele fotografiate întrucât se obține o bună vizibilitate. Diferența de nivel dintre punctele care determină baza poate fi egală cu cel mult $1/5$ din bază ($\Delta h \leq 1/5$ din B).

Lungimea bazei de fotografiere

Lungimea bazei de fotografiere este determinată de scopul ridicării fotogrammetrice și se alege în funcție de depărtarea obiectului fotografiat față de bază; tipul camerei de fotografiere se alege tot funcție de parametrii amintiți.

Pentru a stabili lungimea bazei de fotografiere în stereofotogrammetria terestră se utilizează relația:

$$Y = \frac{B \cdot f}{p} \quad (7.6)$$

unde:

Y – depărtarea obiectului fotografiat față de bază;

B – lungimea bazei;

f – distanța focală a camerei utilizate;

p – paralaxa stereoscopică.

Prin diferențierea relației (148) se obține:

$$\frac{dY}{Y} = -\frac{Y}{B} \cdot \frac{dp}{f} \quad (7.7)$$

Cu ajutorul relațiilor (148) și (149) au fost determinate limitele de variație (Fig. 7.1) ale lungimii bazei de fotografiere:

$$\frac{Y_{\max}}{20} \leq B \leq \frac{Y_{\min}}{4} \quad (7.8)$$

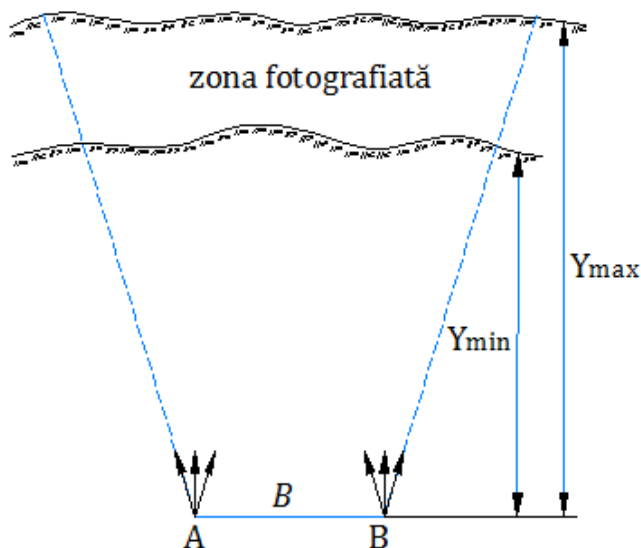


Fig. 7.1 Limitele de variație ale lungimii bazei de fotografiere

Lungimea bazei poate fi măsurată direct (cu ruleta, panglica, sau firul de invar), sau indirect, dar cu precizie ridicată (cu stații totale sau teodolite digitale dotate cu EDM).

Dacă între capetele bazei nu există vizibilitate, lungimea bazei se determină din coordonatele punctelor de capăt.

Când zona de lucru nu poate fi fotografiată dintr-o singură bază, vor fi amplasate mai multe baze combinate între ele (adică un punct să reprezinte capătul pentru două baze vecine).

Determinarea coordonatelor punctelor de capăt ale bazelor fotogrammetrice

După cum am amintit, punctele de stație – prin coordonatele lor – reprezintă elemente de orientare exterioară pentru fotogramele preluate prin stereofotogrammetrie (și fotogrammetrie) terestră. Din această cauză precizia de determinare a punctelor de stație și a punctelor de capăt ale bazelor fotogrammetrice trebuie să fie ridicată.

Metodele de determinare a coordonatelor punctelor de stație și de capăt ale bazelor sunt intersecțiile multiple (înainte, înapoi, combinate), prelucrate prin metoda celor mai mici pătrate. Pentru determinarea cotelor se utilizează metoda nivelmentului geometric de mijloc.

Odată cu dezvoltarea aparatelor de măsurare a distanțelor prin unde electrooptice sau prin laser, pentru determinarea coordonatelor se utilizează metoda drumuirilor, iar în ultima vreme și tehnologia GNSS.

Reperajul fotogrammetric

Realizarea legăturii dintre sistemul de referință al bazei sau bazelor de preluare cu sistemul de referință al obiectului fotografiat se realizează cu ajutorul reperelor fotogrammetrice.

Reperele fotogrammetrice sunt puncte perfect identificabile pe fotogramă și în teren, dispuse convenabil în câmpul de fotografiere, în număr de minimum patru pentru o bază fotogrammetrică. Dispunerea reperelor se face conform proiectului de fotografiere, având grijă ca imaginea lor să nu se poziționeze în apropierea marginii pe fotogramă și în același timp ca minimum trei repere, pentru fiecare cuplu, să nu fie coliniare.

La stabilirea poziției reperelor se va asigura legătura cu fotogramele vecine, iar stereogramele comune aceleiași baze să fie legate prin cel puțin un reper comun (Fig. 7.2).

Materializarea în teren a reperelor fotogrammetrice se face prin țărugi din lemn atunci când sunt folosite la o singură măsurătoare, sau cu tije metalice când sunt utilizate la măsurători care se repetă.

În funcție de forma obiectului fotografiat și de depărtarea până la acesta semnalizarea reperelor se face cu panouri de forme și dimensiuni diferite, respectându-se condiția ca imaginea reperului înregistrată pe fotogramă să fie mai mare decât dimensiunile mărcii stereoscopice cu care se face punctarea la aparatele de exploatare.

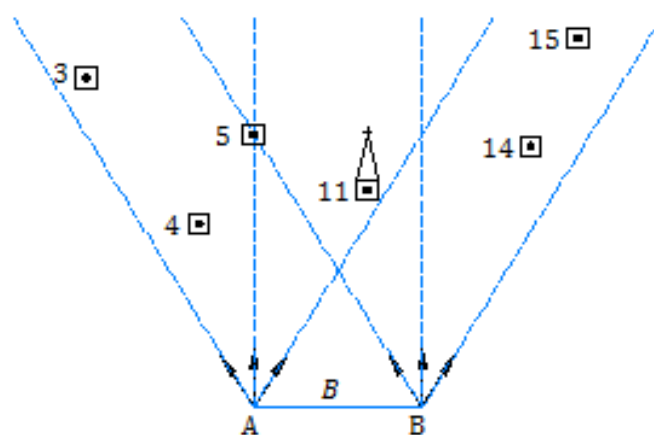


Fig. 7.2 Dispunerea reperelor fotogrammetrice în raport cu baza de fotografiere

Pentru o bună vizibilitate panourile reper sunt vopsite în culorile convenționale galben-citron și albastru marin (Fig. 7.3).

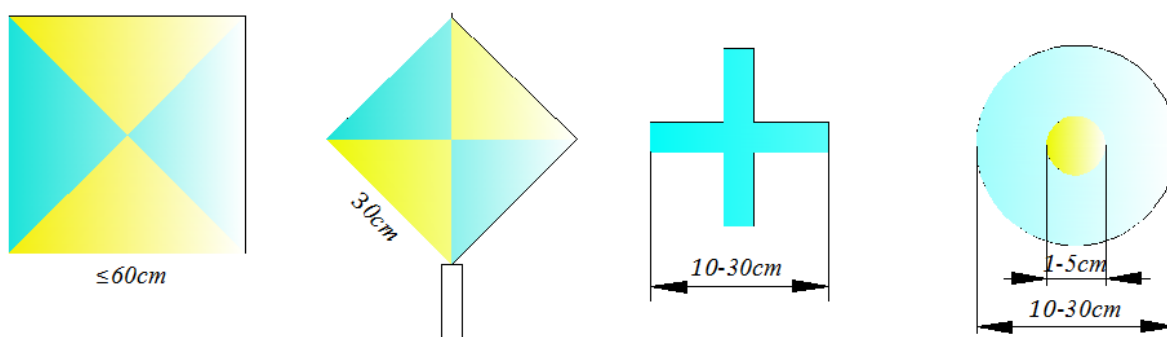


Fig. 7.3 Panouri reper folosite pentru reperajul fotogrammetric

Determinarea coordonatelor reperelor fotogrammetrice

Cum reperele fotogrammetrice asigură legătura dintre sistemul de referință al fiecăreia din bazele de preluare a fotogramelor cu sistemul de referință al obiectului fotografiat, coordonatele acestora trebuie determinate riguros astfel încât fotogramele obținute să poată servi scopului pentru care s-a făcut fotografierea.

Poziția spațială a fiecăreia dintre repere se determină prin metodele topografice cunoscute (intersecții, poligonatii, radieri, etc.). Pentru asigurarea unui randament ridicat se vor alege metodele care au durata cea mai scurtă a lucrărilor efectuate în teren, dar care, în același timp, asigură precizie corespunzătoare în determinarea poziției spațiale a reperelor.

Data fiind dezvoltarea instrumentelor de măsurare prin unde a distanțelor, apariția stațiilor totale și a sistemelor GNSS, în ultima perioadă etapa de determinare a coordonatelor planimetrice s-a redus simțitor.

Determinarea cotelor reperelor se realizează prin nivelment geometric realizat pe trasee sprijinite pe puncte de cotă cunoscută.

Asigurarea rezultatelor corespunzătoare și controlul în determinarea poziției

spațiale a reperelor fotogrammetrice se realizează prin aplicarea următoarelor măsuri:

- fiecare reper va fi determinat, atât planimetric cât și altimetric, cu control la teren și în calcule; controlul constă în includerea reperului ca punct în stație într-o poligonatie sau determinarea lui din dublă intersecție sau dublă radiere;

- fiecare reper trebuie determinat cu precizia corespunzătoare scopului și metodei de determinare, precizie stabilită prin proiectul de fotografiere;

- cota reperelor altimetrice se determină la sol, întrucât prin exploatarea fotogramelor această cotă este cea care ne interesează;

- efectuarea calculelor se va face automatizat, realizându-se controlul valorilor obținute.

Determinarea poziției spațiale a reperelor fotogrammetrice se face simultan cu lucrările de fotografiere atunci când obiectul de fotografiat este de dimensiuni mici. Când obiectul de fotografiat este de dimensiuni mari, pe suprafețe extinse, poziția spațială a reperelor fotogrammetrice se determină fie înainte, fie după operația de fotografiere.

O situație aparte se întâlnește în cazul reperelor fictive, repere care sunt semnalizate prin panouri reper, dar a căror poziție spațială se determină pe cale fotogrammetrică.

Acest tip de repere se utilizează pentru mărirea numărului de repere pe cuplul de fotograme, servind și la semnalizarea unor elemente care sunt special urmărite în procesul de măsurare.

Preluarea fotogramelor terestre

Calitatea întregii lucrări este determinată de reușita operației de fotografiere, orice abatere apărută în acest proces conducând la refacerea lucrării.

Fotografierea se realizează atunci când în zona de lucru este vizibilitatea cea mai bună, având grijă ca lumina „să vină” din spatele instrumentului de preluare a fotogramelor.

Se va evita realizarea fotogramelor în condiții de ceață, ploaie, ninsoare și, în nici un caz, nu vor fi făcute fotograme cu lumina în fața obiectivului camerei fotogrammetrice.

Timpul de expunere se stabilește funcție de condițiile de iluminare și de materialul fotografic folosit.

Vizibilitatea și iluminarea trebuie să fie asemănătoare în cele două capete ale bazei de fotografiere, întrucât o iluminare inegală a fotogramelor care alcătuiesc cuplul stereoscopic influențează negativ asupra modelului stereoscopic obținut.

Primele înregistrări se fac în capătul din stânga A al bazei de fotografiere, iar apoi în capătul din dreapta B (Fig. 7.2).

Fotocamera se fixează pe trepiedul din capătul A, iar trepiedul din capătul B se fixează mireta de orientare care, după calare, se orientează spre fotocameră prin orificiul de orientare.

După calarea fotocamerei, în dispozitivele anexă ale acesteia se înregistrează datele de identificare ale fotogramelor și anume: orientarea axei de fotografiere (A, AL, AR), numărul bazei fotogrammetrice, orizontul de fotografiere și distanța focală.

Aceste date se înregistrează fotografic pe fotogramă.

Se realizează fotografierea cu axa de fotografiere orientată, pe rând, în fiecare din cele trei poziții: 100^g (A), 65^g (AL) și 135^g (AR); în fiecare caz se verifică orientarea axei de fotografiere și calarea în timpul executării fotografierii, iar dacă se constată abateri se refac fotografiile.

Fotocamera se mută apoi la capătul din dreapta B al bazei, iar mireta de orientare în capătul stâng A și se realizează fotografiile și din acest punct, în mod similar.

Orientarea axei de fotografiere în acest caz va fi, pe rând: 300^g (B), 265^g (BL), 335^g (BR).

În carnetul de teren se înregistrează: datele fotografierii, schița orientării axelor de fotografiere, cu poziția panourilor reper și numărul de ordine al acestora, precum și lungimea bazei de fotografiere și înălțimea fotocamerei în capătul A al bazei (Fig. 7.4).

Baza 21				Data: 01.06.2026		
	AL	A	AR	BL	B	BR
Orizont de fotografiere	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Orientarea axelor de fotografiere	65/265	100/300	135/335	65/265	300/100	335/135
Timp de expunere	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s
Caseta	2	1	3	5	4	6
Înălțime aparat		1,35				

Lungimea bazei 49,255m

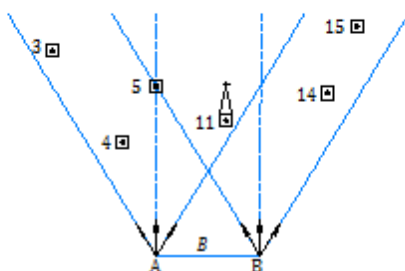


Fig. 7.4 Înscrierea datelor în carnetul de teren

Prelucrarea fotografiilor terestre

Prelucrarea fotografiilor se realizează cu ajutorul aparatelor de restituție.

Acestea permit determinarea poziției punctelor de intersecție a tuturor razelor omoloage a celor două fascicule perspective reconstituite din imaginile care alcătuiesc cuplul stereoscopic. Aparatele de restituție pot fi:

a. aparate analogice care utilizează principiul analogiei geometrice dintre figura spațiului format de către două fascicule perspective în momentul preluării imaginilor și figura formată de cele două fascicule reconstituite în aparat. Reconstituirea figurii se face pe cale mecanică sau optică.

b. aparate analitice la care restituția se face pe cale analitică. Principiul lor se bazează pe stabilirea poziției punctelor imagine din modelul stereoscopic și prelucrarea pur numerică a coordonatelor acestor puncte pentru obținerea coordonatelor în spațiu ale punctului de intersecție a razelor omoloage corespondente.

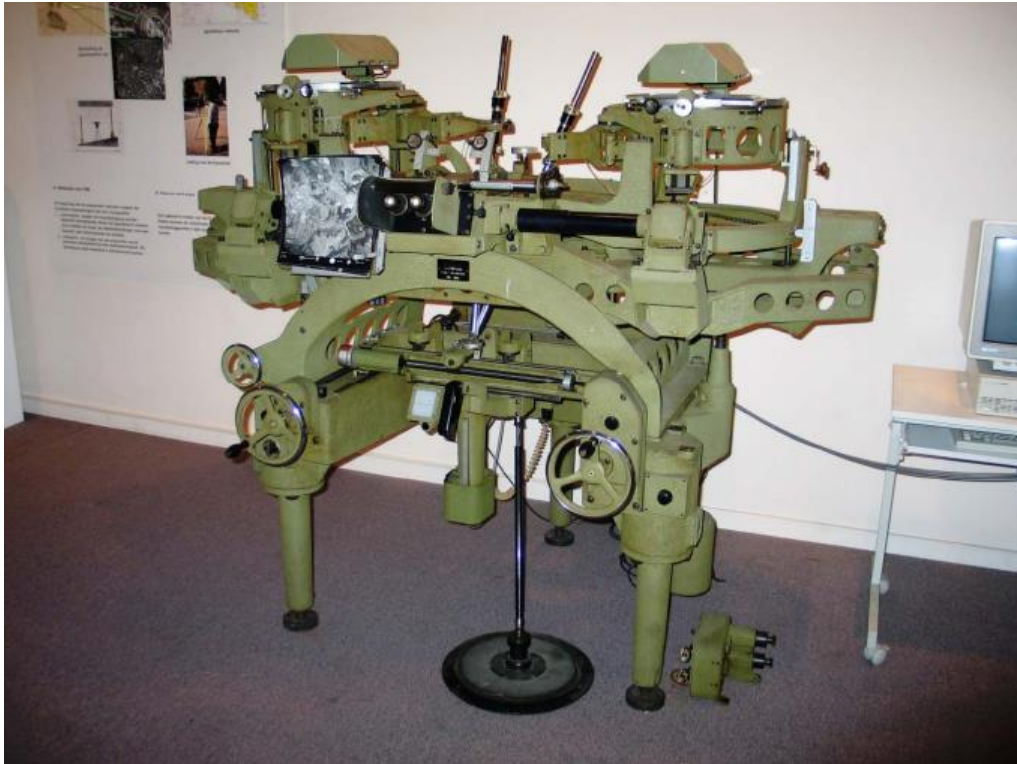


Fig. 7.5 Masa de stereorestituție

(sursa: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Restitutietoestel_24-03-2007_16-43-10.jpg)

Metode de prelucrare

Prelucrarea fotogramelor terestre poate fi făcută prin metode analogice sau numerice (analitice).

Indiferent de metoda de prelucrare adoptată folosită, modelul stereoscopic trebuie orientat față de sistemul de referință al spațiului real.

Între cele două categorii de metode există distincții atât din punct de vedere al preciziei obținute cât și prin modul de prezentare al obiectului fotografiat.

A. Prelucrarea analogică: prin această metodă de prelucrare obiectul fotografiat este reprezentat sub formă grafică, la scara dorită. Prelucrarea analogică, cunoscută și sub denumirea de restituție fotogrammetrică, se realizează la aparatele de restituție pe parcursul următoarelor etape:

1. efectuarea orientărilor interioare;
2. efectuarea orientărilor exterioare relative;
3. determinarea reperajului pe masa de desen;
4. orientarea exterioară absolută;
5. prelucrarea propriu-zisă.

Prin restituție fotogrammetrică sunt rezolvate următoarele probleme:

- trasarea elementelor de planimetrie la scara dorită prin urmărirea cu marca reper a unui nivel fixat în modelului;
- trasarea curbelor de nivel prin urmărirea cu marca reper a unui nivel fixat în

tamburul de cote;

- cartografierea planului și completarea lui cu semne convenționale pentru detaliile care nu au putut fi redactate la scară.

În cazul cel mai favorabil, prelucrarea analogică oferă o precizie pe plan de $\pm 0,1$ mm.

B. Prelucrarea numerică: această metodă se aplică numai la determinarea punctelor individuale ale spațiului real.

Precizia de măsurare care se asigură prin această metodă este de $\pm 0,02$ mm, condiționată fiind de precizia de măsurare a aparatului. Creșterea preciziei se poate realiza prin dublarea măsurărilor.

Obiectul fotografiat este reprezentat prin coordonatele punctelor, înregistrate în mod automat de un "coordimetru".

Aplicarea fotogrammetriei terestre în diverse domenii tehnice

Datorită capacității de înmagazinare a informației și preciziilor obținute după prelucrarea imaginilor preluate, fotogrammetria terestră se utilizează într-omultitudine de domenii, și anume:

- topografie;
- construcții;
- arhitectură;
- tasări și deformații ale construcțiilor, alunecări și scufundări de terenuri;
- hidrotehnică;
- geologie și geotehnică;
- agricultură;
- industria construcțiilor de mașini și verificarea componentelor și utilajelor în exploatare;
- construcții de nave;
- medicină;
- biologie;
- antropometrie, etc.

Aplicarea fotogrammetriei terestre în fiecare din domeniile menționate depinde de informațiile solicitate și de precizia cerută în măsurători.

Măsurătorile fotogrammetrice se execută pentru reprezentarea analogică a informațiilor culese, care să servească cercetării și proiectării.

Pentru fiecare domeniu de aplicare intervine o caracteristică a condițiilor de efectuare a măsurărilor. Această caracteristică dictează modul de aplicare a fotogrammetriei terestre în domeniul respectiv.

Se poate face o clasificare după situația în care se găsește obiectul măsurat.

Astfel, după distanța de fotografiere se disting categoriile:

I. fotogrammetria la mare distanță – aplicată în cazul obiectelor situate la peste 30 m, adică în general în domeniile topografie, hidrotehnică, geologie, agricultură, construcții, arhitectură, tasări și scufundări, etc;

II. fotogrammetrie la mică distanță – aplicată în cazul obiectelor dispuse la depărtări

cuprinse între 30 m și 2 m, respectiv în majoritatea domeniilor tehnice;

III. fotogrammetrie la foarte mică distanță – atunci când obiectele măsurate sunt situate la distanțe mai mici de 2 m, precum și atunci când se fotografiază direct prin intermediul unui microscop (medicină, biologie, antropometrie).

După starea obiectului de măsurat se disting categoriile:

I. fotogrammetria obiectelor în repaus;

II. fotogrammetria obiectelor în mișcare.

Obiectele în mișcare pot avea viteze mici, cum întâlnim în cazul tasării construcțiilor, alunecărilor și scufundărilor de teren, fisurilor și deformațiilor pereților, sau vitezele pot fi mari, ca în cazul roților vehiculelor (circulație rutieră) etc.

Și într-un caz și în celălalt se măsoară producerea deformațiilor în unitate de timp și amplitudinea mișcării în unitate de timp.

În fotogrammetria la mică și foarte mică distanță se utilizează numai cazul normal fotogrammetric, depărtarea Y fiind menținută constantă.

Reperajul necesar orientării exterioare este adaptat condițiilor specifice fiecărui domeniu de aplicare a fotogrammetriei terestre.

Pot fi utilizate distanțele măsurate fie între reperii premarcați, fie între detaliile vizibile pe fotograme, sau, în cazul fotogrammetriei la foarte mică distanță, sunt utilizate grile-caroiaj amplasate în planul focal al microscopului prin intermediul căruia se face fotografierea.

Erori care afectează precizia determinărilor în fotogrammetria terestră

La efectuarea determinărilor prin fotogrammetrie terestră, erorile maxime admisibile se stabilesc în funcție de scopul lucrării, instrumentele folosite și metoda de exploatare utilizată.

Erorile care intervin se grupează în:

I. erorile elementelor de orientare interioară:

- erori în determinarea poziției originii axelor de coordonate;
- erori în determinarea distanței focale a camerei fotogrammetrice;
- erori produse de distorsiunile obiectivului;
- erori datorate materialului fotografic.

II. erori ale elementelor de orientare exterioară:

- erori de orientare a axelor de fotografiere;
- erori de înclinare a axelor de fotografiere;
- erori de măsurare a bazei fotogrammetrice.

Eroarea totală a elementelor de orientare interioară și exterioară nu trebuie să depășească eroarea de determinare a coordonatelor imagine pe fotogramă.

Pentru asigurarea unei precizii bune a rezultatelor finale este necesară asigurarea unei precizii omogene a elementelor de orientare interioară și exterioară.

Capitolul 8

Fotointerpretarea

După cum am văzut, fotogrammetria se ocupă cu determinarea formei și dimensiunilor obiectelor și a poziției lor spațiale pe baza măsurătorilor executate pe fotograme.

Fotointerpretarea, folosind aceleași fotograme, asigură identificarea și obținerea unor informații suplimentare care conduc la cunoașterea aprofundată a obiectelor și proceselor fotografiate, vizibile sau nu pe fotograme.

Informațiile rezultate prin fotointerpretare sunt de natură calitativă și completează informațiile de natură cantitativă obținute prin măsurătorile fotogrammetrice.

Fotogrammetria și fotointerpretarea se completează una pe alta prin schimb de cunoștințe tehnice și procedee de lucru.

Lucrările de fotointerpretare se desfășoară, în cea mai mare parte a lor, în laborator. Cum însă fotointerpretarea nu permite precizarea sigură a tuturor informațiilor, finalizarea rezultatelor interpretării se realizează în teren.

Prin fotointerpretare pot fi exploatate suprafețe mari, uneori greu accesibile.

Totodată obiectele și procesele care sunt interpretate pot fi examinate în mod repetat, întrucât în laborator se poate relua fără dificultate orice fotogramă și se pot obține interpretări noi.

Aceste avantaje conferă fotointerpretării posibilitatea de a da cercetării maimultă exactitate precum și reducerea duratei cercetării.

Cercetarea aspectului calitativ al fotogramelor cuprinde următoarele etape:

I. Citirea fotografică, ce constă în simpla identificare și descriere a obiectelor materializate pe imaginea fotografică; operația se desfășoară în laborator și se limitează la obiectele și fenomenele care apar distinct în fotografie;

II. Recunoașterea fotografică, în cadrul căreia imaginile obiectelor sunt sesizate de către operator, dar nu sunt denumite datorită necunoașterii lor; pentru denumirea lor trebuie făcute comparații cu alte fotograme citite sau se face identificarea în teren;

III. Identificarea directă în teren (numită impropriu descifrare), constă în citirea fotografică verificată (sau completată) la teren; în final identificarea directă conduce la produsul numit crochiu de identificare, realizat prin conturarea obiectelor pe fotografii, respectiv prin reprezentarea lor pe fotografii prin semne convenționale. Ulterior, la laborator, acestui crochiu i se poate îndepărta imaginea fotografică, pe suport rămânând numai contururile trasate și semnele convenționale marcate de operator;

IV. Identificarea indirectă prin care se plasează pe fotograme obiecte sau părți ale acestora, care se găsesc în teren, putând fi identificate în teren, însă ale căror imagini nu se pot distinge pe fotograme. Plasarea acestor obiecte (sau părți ale obiectelor) pe fotograme se realizează prin măsurători față de alte detalii existente pe fotograme și în teren.

V. Fotointerpretarea propriu-zisă, prin care fotografiile sunt observate, cercetate și analizate în mod sistematic, pentru a se extrage informații, diferite elemente documentare și chiar rezultate cantitative în legătură cu situația și fenomenele naturale sau cele transformate de activitatea omenească.

În această etapă se realizează de fapt o fotointerpretare de specialitate, caracterizată de următoarele trăsături:

- fotointerpretarea este legată de un anumit domeniu de activitate;
- necesită prezența unui specialist în domeniul în care se face fotointerpretarea, care îmbină utilizarea procedeeelor și tehnicii de observare și analiză a fotografiilor cu principiile și tehnica specialității respective;
- factorii și elementele care se determină sunt în legătură cu cei materializați pe fotografiile și care se pot observa și cerceta, însă nu se identifică cu aceștia.

VI. Fotointerpretarea complexă prin care rezultatele obținute prin fotointerpretările de specialitate sunt reunite și prelucrate pe o bază superioară, pornind de la același material de fotografiere, pentru aceeași zonă.

Se obțin rezultate calitative noi, care permit cunoașterea multilaterală și profundă a obiectelor și fenomenelor.

Determinările, constatările și concluziile care se pot extrage pe baza confruntării și colaborării rezultatelor obținute în cadrul fotointerpretărilor de specialitate sunt deosebit de importante.

În acest fel, de exemplu, se poate întocmi baza documentară pentru organizarea și sistematizarea marilor orașe, organizarea teritorială, etc.

După efectuarea fotointerpretării, rezultatele acestora sunt consemnate și cartografiate, nu înainte însă de a fi verificate prin confruntarea cu terenul și pe baza cunoștințelor de specialitate existente.

Factorii de care depinde fotointerpretarea

Cum fotointerpretarea este un proces complex trebuie făcută o analiză aprofundată a factorilor care concură în acest proces.

Trebuie studiate caracteristicile obiectelor și condițiile fenomenelor existente în spațiul obiect, operația de înregistrare cu caracteristicile sale, precum și operațiile de observare-studiere a imaginilor. Acest studiu este necesar pentru cunoașterea factorilor în parte și în ansamblul lor, caracterul factorilor și măsura în care unii din factori sunt surse de erori în procesul de interpretare.

Factorii care intervin în procesul de fotointerpretare:

A. Factori care concură la sesizarea obiectelor fotointerpretății:

a. Factori care sunt în legătură cu:

- caracteristicile obiectelor și condițiilor lor înconjurătoare (forma și dimensiunile obiectelor, iluminarea obiectelor, contrastul lor și însușirile de reflectare spectrală a luminii de către obiecte);
- caracteristicile și condițiile de preluare a fotografiilor (difuziunea luminii în

atmosferă, perioada, ziua, ora de fotografiere, tipuri de fotografiere).

b. Factori care sunt în legătură cu:

- caracteristicile imaginii optice, respectiv stereoimaginii (claritatea imaginii, aberația obiectivului, trenarea, scara imaginii, paralaxa);
- caracteristicile imaginii fotografice și produsele utilizate la fotointerpretare (combinație de film + filtru, timpul de expunere și modul de prelucrare în laborator, coeficientul de contrast, latitudinea fotografică, granulozitatea, vălul, pierderile de calitate prin copiere și proiecție, natura și forma de prezentare a produselor utilizate la fotointerpretare);

c. Factori care sunt în legătură cu procesul de observație a imaginilor fotografice: tonul, respectiv culoarea imaginii (inclusiv contrastul imaginii, textura), claritatea imaginii, scara imaginii, respectiv scara de observație, forma obiectului, condițiile de iluminare și de observație (direct sau prin proiecție sau transparență; monocular sau binocular, stereoscopic sau nestereoscopic).

B. Factori care concură la identificarea obiectelor fotointerpretării și deducerea semnificației lor:

a. Factori care sunt în legătură cu:

- calitățile vizuale ale fotointerpretatorului (acuitatea monoculară și binoculară, caracteristicile sale vizuale, antrenamentul și experiența în observarea fotogramelor);
- pregătirea sa profesională și cu experiența sa ca fotointerpretator (pregătirea de bază și experiența în domeniul în care se face interpretarea, puterea și îndemânarea de analiză și generalizare).

Analiza concretă a factorilor va fi orientată către dezvăluirea aspectelor care concură la interpretare, urmărindu-se specificul elementelor care ne ajută la rezolvarea problemei în cauză. Se va trece apoi la stabilirea legăturilor dintre factori și la analiza acțiunii lor concomitente pentru a stabili în final influența ansamblului factorilor.

criterii de fotointerpretare

Pe fotograme, obiectele și procesele din teren sunt reprezentate prin imaginile lor. Aceste imagini redau unele caracteristici care ne ajută să recunoaștem și să identificăm obiectele atât „in situ” cât și pe fotograme.

Caracteristicile cu ajutorul cărora sunt identificate obiectele și procesele sunt criterii de fotointerpretare și întrucât sunt intim legate de obiectele respective sunt numite criterii directe.

Printre cele mai importante criterii de interpretare menționăm: forma sau configurația terenului, mărimea, culoarea sau tonul de gri în cazul fotogramelor alb-negru.

I. Forma sau configurația terenului se referă la aspectul imaginii obiectului reprezentat pe fotogramă. Este unul din cele mai importante criterii de identificare și interpretare a obiectelor reale prin observația directă.

În recunoașterea și identificarea obiectelor după formă, un rol important îl au: scara fotogramei, puterea de rezolvare a camerei și a obiectivului, în special pentru

obiectele ce sunt suficient de mari pentru a fi redate individual fără alterarea configurației lor.

Identificarea obiectelor după formă sau configurație se poate aplica mult mai ușor în cazul modelelor stereoscopice întrucât acestea redau imaginea tridimensională a obiectelor, ca în realitate. Chiar dacă în acest caz intervine exagerarea pe verticală a modelului stereoscopic și cu această deformare, obiectele sunt relativ ușor de identificat.

II. Mărimea obiectelor și respectiv a imaginilor lor constituie un alt criteriu important de fotointerpretare. Deoarece fotografiile și stereomodelele oferă imagini reduse la scară, drept criteriu de identificare nu mai servește atât mărimea reală a obiectelor și nici mărimea redusă la scară, cât mai ales mărimea relativă a obiectelor, respectiv dimensiunile obiectului (prin imaginea sa) în raport cu dimensiunile altor obiecte.

Mărimea, împreună cu forma obiectului conduce la identificarea sigură în fotointerpretare.

Mărimea, ca criteriu de fotointerpretare, poate fi aplicată corect în funcție de scara imaginilor, deoarece atunci când scara este prea mică, odată cu pierderea formei, obiectele își pierd și caracteristicile dimensionale.

III. Culoarea pentru fotografiile color și tonul în cazul fotografiilor alb-negru sunt criterii directe care doar combinate cu altele (mărime, formă) pot fi utilizate în interpretare.

IV. Umbra este un criteriu indirect însă de mare importanță, pentru că forma acesteia este asemenea cu obiectul care o generează, acesta putând fi astfel identificat. Lungimea umbrei indică înălțimea obiectului, iar orientarea umbrei conduce la determinarea momentului din zi când a fost realizată fotografia și la stabilirea punctelor cardinale.

V. Poziția imaginii obiectului în raport cu imaginile altor obiecte poate ajuta la identificarea obiectului. Analiza în amănunt a poziției imaginii unui obiect conduce la obținerea de informații care nu sunt reprezentate pe fotografie.

În cazul modelelor stereoscopice, întrucât acestea redau o imagine tridimensională, analiza poziției unui obiect exprimă mai bine raporturile dintre obiecte.

VI. Densitatea sau dispersia imaginilor unor categorii de obiecte, în combinație cu alte criterii de interpretare, poate fi utilizată la interpretarea și identificarea obiectelor respective.

VII. Textura fotografiei exprimată prin mărimea punctelor ce redau obiecte prea mici pentru a apărea ca imagini distincte la scara fotografiei, servește de asemenea la interpretarea fotografiilor. Textura depinde de mărimea obiectelor și de scara fotografiei.

VIII. Structura se exprimă prin modul de poziționare spațială a imaginilor obiectelor pe fotografie. Structura se manifestă atât în cazul obiectelor mari care apar distinct pe fotografie, cât și în cazul obiectelor mici cu reprezentare punctiformă.

De cele mai multe ori, pentru identificarea obiectelor sau a grupurilor de obiecte este suficient un singur criteriu de identificare, însă utilizarea mai multor criterii conduce

la o identificare precisă și rapidă și în același timp asigură deducerea unor informații care nu apar în mod vizibil pe fotograme.

Bibliografie selectivă

1. Colectiv Facultatea de Geodezie (2002). Măsurători terestre. Fundamente-vol 1+2+3, Editura MATRIXROM, București, ISBN 973-685-320-9.
2. Donisă, I. și colab. (1980). Aerofotointerpretarea geografică, Editura Didactică și Pedagogică, București.
3. Donisă, V, Donisă I. (1998). Dicționar explicativ de Teledetecție și Sisteme Informaționale Geografice, Editura Junimea, Iași.
4. Dragomir, V. și colab. (1976). Topografie Militară, Editura Militară, București.
5. Guțu, Al., Andrei, O. (1976). Fotogrammetria terestră în cercetare și proiectare, Editura Tehnică, București.
6. Ionescu, P. și colab. (1980). Topografie, geodezie și fotogrammetrie, Editura CERES, București.
7. Marton, G., Zegheru, N. (1972). Fotogrammetrie, Editura CERES, București.
8. Marton și colab. (1980). Dicționar de geodezie, fotogrammetrie-teledetecție și cartografie, Editura Tehnică, București..
9. Oprescu, N și colab. (1974). Fotogrammetrie-Fotointerpretare-Teledetecție, Secțiunea IX, Manualul inginerului geodez, Editura Tehnică, București.
10. Niculescu, Stanca (1987). Fotogrammetrie, Litografie Institutului de Mine, Petroșani.
11. Popescu, G. (2014). Fotogrammetria pe înțelesul tuturor, Editura MATRIXROM, București, ISBN 978-973-755-643-1.
12. Rotaru, M., Anculete, Gh. (1993). Topogeodezie militară modernă, Editura I.P. Filaret, București.
13. Răducanu, N., Spatariu, A. (1993). Fotogrammetrie. Fotogrammetrie planimetrica, Editura Academiei Tenice Militare, București.
14. Sion, I.-G. (2012). Fotogrammetrie – Teledetecție, Editura MATRIXROM, București, ISBN 978-973-755-577-9.
15. Toderaș, T. (1999). Prelucrarea imaginilor digitale în scopuri cartografice, Editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu.
16. Toderaș, T., Răducanu, D. (2002), Baze de date cartografice – creare și actualizare, Editura Academiei Tenice Militare, București.
17. Toderaș, T. (2007). Fotogrammetrie, Editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu, ISBN 978-973-739-384-5.

18. Turdeanu, L. (1997). Fotogrammetrie analitică, Editura Academiei Române, ISBN 978-973-270-613-8.
19. Vertan, C. (1999). Prelucrarea și analiza imaginilor, Universitatea Politehnica, București.
20. Vorovencii, I. (2010). Fotogrammetrie, Editura MATRIXROM, București, ISBN 978-973-755-580-9.
21. Zăvoianu, F. (1999). Fotogrammetria, Editura Tehnică, București.
22. *** STAS 7488-89. Geodezie, Topografie, Fotogrammetrie, Cartografie și Cadastru – Terminologie și simboluri.