

Margita Vajsáblová

Geometrické základy fotogrametrie

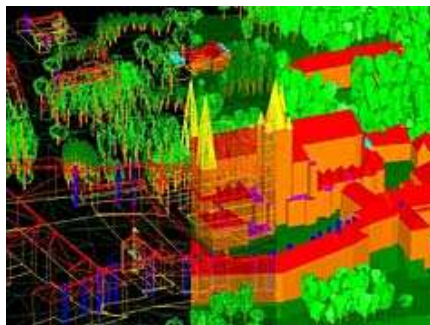
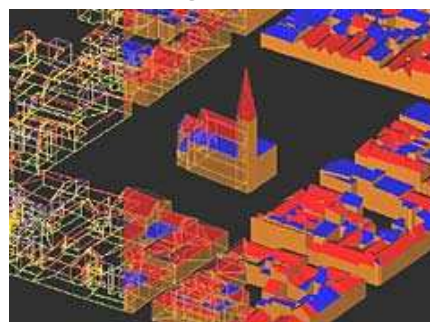
– základné pojmy

Aplikácie fotogrametrie

Ortofotomapa Bratislavy



3D modely miest a sídiel



3D model zástavby mesta vznikne na základe leteckého snímkovania a stereometrického vyhodnotenia snímok.

Pred vynálezom fotografie:

- 1715 – Angličan Taylor – rekonštrukcia objektov z ich perspektívneho obrazu.
- Švajčiar Capeller podľa toho narysoval približný pôdorys krajiny a Lambert – metódu teoreticky spracoval.
- 1808 – Francúz Beautems – Beaupré opísal použitie tzv. dierkovej komory na presnejšie zobrazenie krajiny – základ fotogrametrie.

Po vynájdení fotografie Dauguerrom a Niepcom:

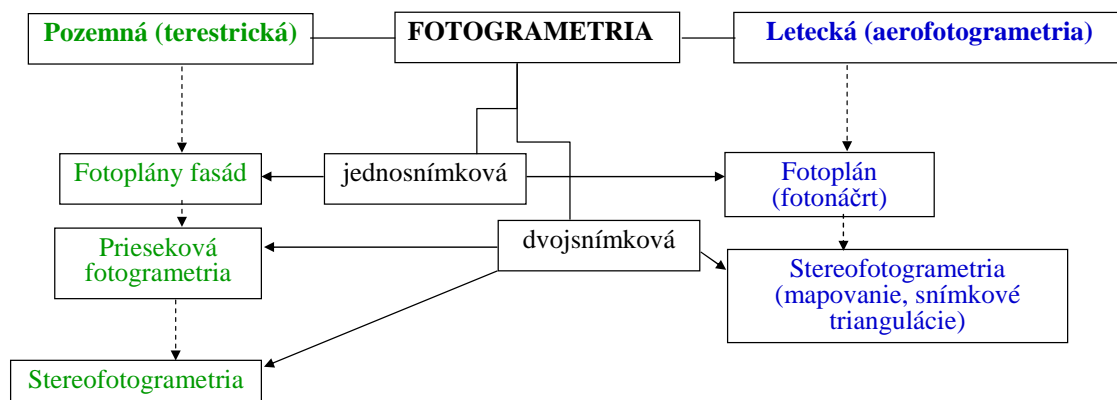
- Francúzsky dôstojník Aimé Laussedat – zostrojil z fotografických snímok územný plán metódou pretínania napred.
- 1885 – ruský dôstojník Kovaňko zostrojil meračské snímky z upútaného balónu.
- Ing. A. J. Tile – používal zložitejšie fotokomory.
- Rakúsky kapitán Scheinpflug – zostrojil fotoperspektograf.
- Začiatok 20. stor. – prof. Puldrich – zostrojil stereokomparátor – zmechanizovanie zostrojovania plánov.
- Súčasnosť – digitálna fotografia a spracovanie snímok.

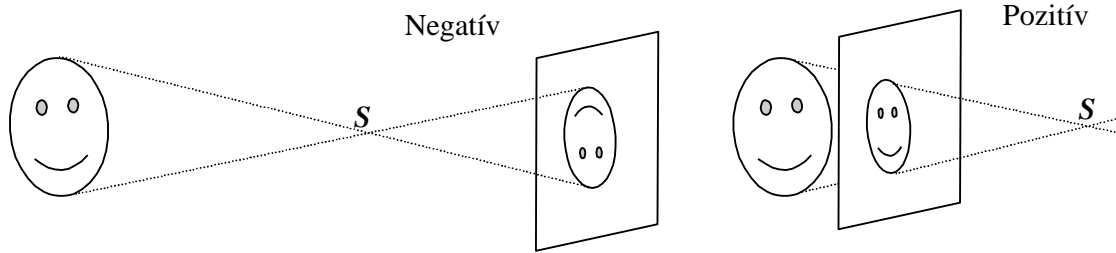
Stereoskopia

- Euklides (3. storočie p. n. l.) – uvedenie si priestorového videnia.
- 16. storočie – Della Porta prvý nakreslil stereoskopickú dvojicu.
- 17. storočie – zostrojili binokulárny mikroskop – opačný stereoeffekt si dlho nevedeli vysvetliť.
- 1833 – fyzik Wheatston skonštruoval stereoskop – zdokonalil Brewster.
- 1854 – ruský maliar Alexandrovskij – prvý stereofotografický prístroj s dvoma objektívmi.
- Súčasnosť – digitálne stereoskopické stanice a 3D skenovanie.

Fotogrametria

Fotogrametria je odbor, ktorého úlohou je tvorba pravouhlých priemetov objektov zo známych fotografických snímok.

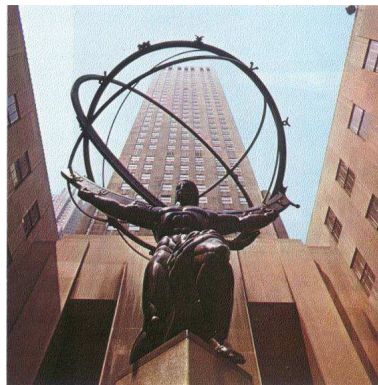




Zvislá snímka pozemná
(zvislá perspektíva)



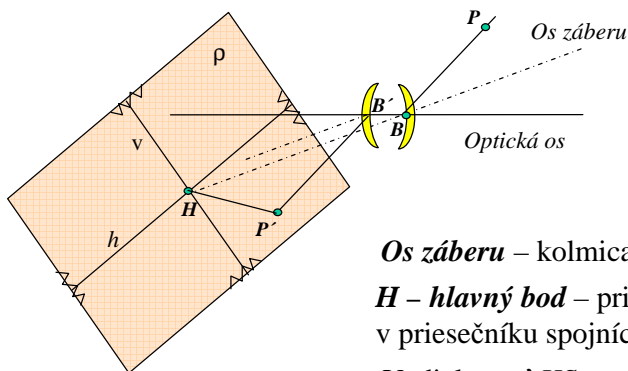
Šikmá (sklonená) snímka pozemná
(žabia šikmá perspektíva)



Šikmá (sklonená) letecká snímka
(vtáčia šikmá perspektíva)



Prvky vnútornej orientácie snímky – H, f



B – stred vstupnej pupily,
 B' – stred výstupnej pupily, z nich
je určená poloha projekčného
centra S .

Os záberu – kolmica na rovinu snímky cez projekčné centrum.

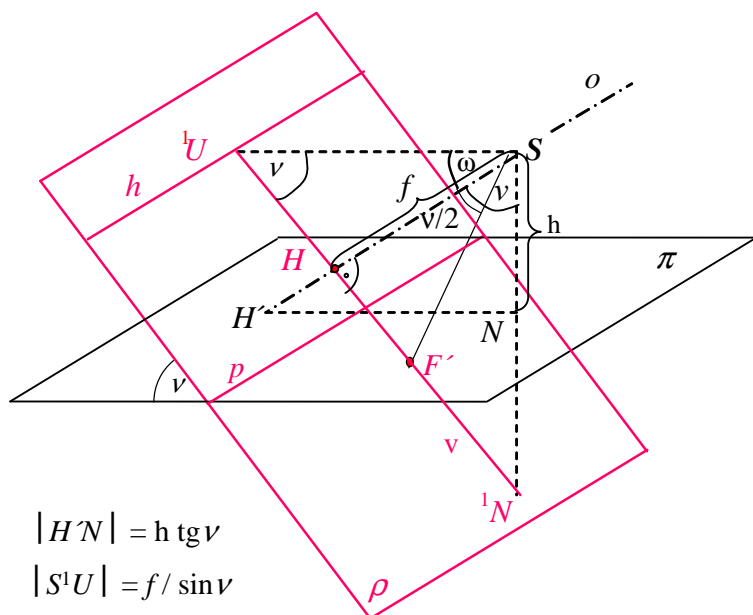
H – *hlavný bod* – priesečník osi záberu s rovinou snímky,
v priesečníku spojnic rámových značiek.

Vzdialenosť $HS = c_k$ – konštanta komory.

Ak optická os je kolmá na rovinu snímky, potom os záberu je totožná s optickou osou.

Chápanie projekcie:

- Stredový priemet – dierková komora (prakticky nevyužiteľné).
- Pri ideálnom optickom zobrazení nahrádzajú projekčné centrum (stred premietania) dva uzlové body objektívu, fotogrametria však používa ako projekčné centrá stredy vstupnej a výstupnej pupily objektívu.
- Pri fotografovaní veľkých priestorových objektov a terénu je fotoaparát zaostrený na nekonečno, teda **rovinu snímky (filmu) je v obrazovej ohniskovej rovine, teda $c_k = f$.**



$$|H'N| = h \operatorname{tg} v$$

$$|S^1U| = f / \sin v$$

$$|S^1N| = f / \cos v$$

$$|H^1N| = f \operatorname{tg} v = f \operatorname{ctg} \omega$$

$$|H^1U| = f \operatorname{ctg} v = f \operatorname{tg} \omega$$

$$|SF'| = f / \cos(v/2)$$

$$|HF'| = f / \operatorname{tg}(v/2)$$

- S – projekčné centrum,
- f – ohnisková vzdialenosť
- H – hlavný bod
- (H, f) – prvky vnútornej orientácie snímky
- ρ – rovina snímky,
- o – optická os kamery \equiv os záberu,
- π – predmetová rovina,
(p – jej stopa, h – horizont – úbežnica),
- v – hlavná vertikála
- N – nadir, 1N – snímkový nadir,
- $h = |SN|$ – výška horizontu,
- uhol v – nadirová vzdialenosť.
- F' – fokálny bod, $\angle HSF' = v/2$
- ω – priečný sklon snímky

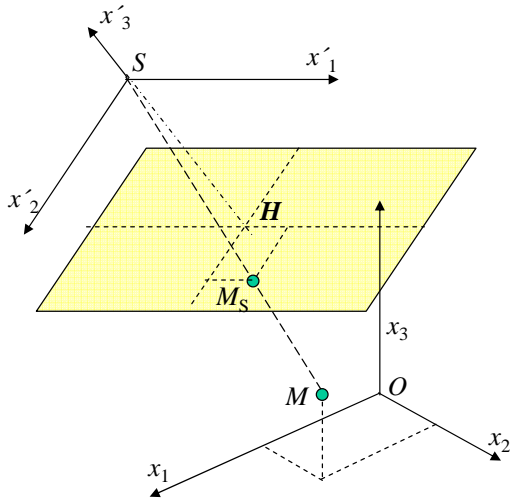
Perspektíva, snímka a fotogrametria

V nasledujúcej tabuľke je uvedené rozdielne chápanie, či pomenovanie niektorých pojmov v deskriptívnej geometrii, optike a vo fotogrametrii.

Deskriptívna geometria	Optika	Fotogrametria
S – stred premietania	Uzlové body objektívu, príp. stredy vstupnej a výstup. pupily	Projekčné centrum – otvor dierkovej komory
ρ – priemetňa	Film, príp. fotografická doska	Rovina snímky
o – os zorného kužeľa	Optická os – spojnica stredov guľových plôch šošovky	optická os – kolmica z S na ρ
H – hlavný bod	Priesečníky osi s hlavnými rovinami	Priesečník osi s rovinou snímky
d – dištancia	f – obrazová ohnisková vzdialenosť fotoaparátu	f – ohnisková vzdialenosť fotoaparátu
h – horizont	- - -	úbežnica predmetovej roviny
U^s – úbežník spádových priamok vodorovných rovín	- - -	1U – Hlavný úbežník
U^k – úbežník zvislého smeru	- - -	1N – snímkový nadir
Zorný uhol	$35^\circ - 60^\circ$, širokouhlé až 140° , $2 \cdot \operatorname{tg}(\omega/2) = D/f = 1/\operatorname{clon. číslo}$	- - -
Priemer zornej kružnice	D – priemer vstupnej pupily	- - -

Referenčná (objektová) súradnicová sústava: $\{O, x_1, x_2, x_3\}$, x_3 má smer normály referenčnej plochy Zeme.

Snímková súradnicová sústava: $\{S, x'_1, x'_2, x'_3\}$, S – projekčné centrum, x'_3 je kolmá na rovinu snímky.



Prvky vzájomnej orientácie súradnicových sústav:

Súradnice bodu S v referenčnej sústave $S [s_1, s_2, s_3]$ a uhly ω – sklon, φ – stočenie a κ – pootočenie.

Transformácia snímkovej sústavy do referenčnej:

- posunutie S do O ,
- otočenie okolo x_1 o ω , aby sa x'_3 otočilo do roviny (x_1, x_3) ,
- otočenie okolo x_2 o φ , aby sa $x'_3 \equiv x_3$,
- otočenie okolo x_3 o κ , aby sa $x'_1 \equiv x_1$ a $x'_2 \equiv x_2$.

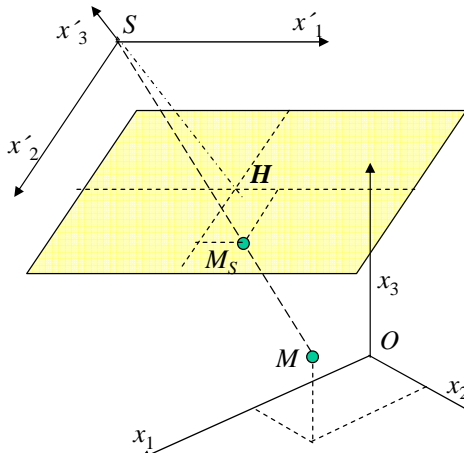
Potom **matica rotácií** v uvedenom poradí otáčania o uhol ω, φ, κ má tvar:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & \sin \omega \sin \kappa + \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa \\ -\cos \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (1)$$

Nesmie sa použiť, ak je približne $x'_3 \parallel x_1$.

Projektívna transformácia

Nech projekčné centrum S má v snímkovej súradnicovej sústave súradnice $S [0, 0, 0]$ a v referenčnej $S [s_1, s_2, s_3]$ a nech bod M má v referenčnej sústave súradnice $M [m_1, m_2, m_3]$ a v snímkovej súradnice $M [m'_1, m'_2, m'_3]$, potom môžeme použiť transformačnú maticu:



$$\begin{pmatrix} m'_1 \\ m'_2 \\ m'_3 \end{pmatrix} = \mathbf{A}^T \begin{pmatrix} m_1 - s_1 \\ m_2 - s_2 \\ m_3 - s_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Ak $M \neq S$, potom M_S je snímka bodu M , teda priesečník priamky SM s rovinou ρ . Nech jeho súradnice v snímkovej sústave sú $M_S [s'_m_1, s'_m_2, s'_m_3]$, potom pre snímkové súradnice ρ a SM platí: $\rho: x'_3 + f = 0$ a $SM: x'_1 = t m'_1,$

$$\begin{aligned} x'_2 &= t m'_2, \\ x'_3 &= t m'_3. \end{aligned}$$

Dosadením za x'_3 do rovnice ρ dostaneme:

$$t m'_3 + f = 0 \Rightarrow t = -\frac{f}{m'_3}, \text{ teda } s'_m = \begin{bmatrix} -f \frac{m'_1}{m'_3} \\ -f \frac{m'_2}{m'_3} \\ -f \end{bmatrix}$$

a dosadením (2) dostaneme transformačné rovnice, ktoré transformujú súradnice ľubovoľného bodu M z referenčného systému do snímkových súradníc jeho obrazu M_S :

$$\begin{aligned} s'_m_1 &= -f \frac{a_{11}(m_1 - s_1) + a_{21}(m_2 - s_2) + a_{31}(m_3 - s_3)}{a_{13}(m_1 - s_1) + a_{23}(m_2 - s_2) + a_{33}(m_3 - s_3)} \\ s'_m_2 &= -f \frac{a_{12}(m_1 - s_1) + a_{22}(m_2 - s_2) + a_{32}(m_3 - s_3)}{a_{13}(m_1 - s_1) + a_{23}(m_2 - s_2) + a_{33}(m_3 - s_3)} \\ s'_m_3 &= -f \end{aligned}$$