

Snímkové souřadnice
 $x = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ -f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_p - x_0 + \Delta x' \\ y_p - y_0 + \Delta y' \\ -f \end{pmatrix}$ x_0, y_0 - souřadnice hl, sn. bodu
 $\Delta x, \Delta y$ - opravy
 Z - distorze obj.

Vztahy mezi souřadnicovými soustavami:

$x', y', x'' \rightarrow x', y', z' \rightarrow x, y, z \rightarrow X, Y, Z$
 snímkové, fiktivní, modelové, geodetické

$$\begin{pmatrix} x'_f \\ y'_f \\ z'_f \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z = -f \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

R je matice rotace a je ortogonální $R^{-1} = R^T$
 Platí podobnost:

$$\frac{x'_f - x'_s}{z'_f - z'_s} = \frac{x'_s - x_0}{z - z_0} \quad \frac{y'_f - y'_s}{z'_f - z'_s} = \frac{y'_s - y_0}{z - z_0}$$

Dosazením dostaneme **kolinéární vztah**

$$x'_s = -f \frac{r_{11}x' + r_{12}y' - r_{13}f}{r_{31}x' + r_{32}y' - r_{33}f}$$

$$y'_s = -f \frac{r_{21}x' + r_{22}y' - r_{23}f}{r_{31}x' + r_{32}y' - r_{33}f}$$

úpravou dostaneme **Modelové souřadnice**

$$x = x_0 + (z - z_0) \frac{r_{11}(x' - x_0) + r_{12}(y' - y_0) - r_{13}f}{r_{31}(x' - x_0) + r_{32}(y' - y_0) - r_{33}f}$$

$$y = y_0 + (z - z_0) \frac{r_{21}(x' - x_0) + r_{22}(y' - y_0) - r_{23}f}{r_{31}(x' - x_0) + r_{32}(y' - y_0) - r_{33}f}$$

nebo inverzně **Snímkové souřadnice**

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

Přímý vztah mezi sn, a geod. Souř. Platí kol. vztah:

$$\frac{x' - x_0}{-f} = \frac{x - x_0}{z - z_0} \quad \frac{y' - y_0}{-f} = \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

$$\begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix}$$

Určení matice rotace v prostoru podle

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos w & -\sin w \\ 0 & \sin w & \cos w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos j & 0 & \sin j \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin j & 0 & \cos j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos k & -\sin k & 0 \\ \sin k & \cos k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$x' \rightarrow \omega$ $y' \rightarrow \varphi$ $z' \rightarrow \kappa$

Rx, Ry, Rz = R

Fotogrammetrické řady – linearizace R

Definují vliv PVO na snímkové souřadnice

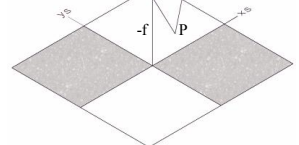
Pro úhly 2-3° platí $\cos da \approx 1$ $\sin da \approx da$

$$dR = \begin{pmatrix} 1 & -dk & dj \\ dk & 1 & -dv \\ -dj & dv & 1 \end{pmatrix}$$

$O_2 = [b_x, b_y, -f]$

$O_1 = [0, 0, -f]$

$P = [x'_s, y'_s, f]$



Pro snímek pořízený z O_1 dosadíme z kol. vztahu,

vydělíme konstantou $-f$ a rozvojem v řadu

$1/(1+x) = 1 - x + x^2 \dots$ se zanedbáním členů 2. řádu

$$x'_s = -f \left(-\frac{x}{f} + \frac{x^2}{f^2} dj' - \frac{x'y'}{f^2} dv' + \frac{y'}{f} dk' + dj' \right)$$

$$y'_s = -f \left(-\frac{y}{f} + \frac{y^2}{f^2} dv' + \frac{x'y'}{f^2} dj' - \frac{x'}{f} dk' - dv' \right)$$

Vliv PVO je: $\Delta x = x'_s - x'$ $\Delta y = y'_s - y'$ (svislé – snímkové)

Úpravou a dosazením za x'_s (y'_s) dostaneme vztahy

$$\Delta x' = -\left(f + \frac{x^2}{f}\right) dj' + \frac{x'y'}{f} dv' - y' dk'$$

$$\Delta y' = -\frac{x'y'}{f} dj' + \left(f + \frac{y^2}{f}\right) dv' + x' dk'$$

ktelé po zavedení vlivu translace dávají **Fotogr. Řady**

$$\Delta x' = -\left(f + \frac{x^2}{f}\right) dj' + \frac{x'y'}{f} dv' - y' dk' + db'_x + \frac{x}{f} db'_z$$

$$\Delta y' = -\frac{x'y'}{f} dj' + \left(f + \frac{y^2}{f}\right) dv' + x' dk' + db'_y + \frac{y}{f} db'_z$$

Aberace – Odchylky skutečného zobrazení od ideálního

Tzv. optické vady. Zhruba se dělí na

a) jednobarevné, b) barevné

Při zobrazování c) bodu (sférická, astigmatismus, koma)

d) předmětu (zklenutí pole a zkreslení obrazu)

Sférická vada Paprsky se v objektivu různě lámou a neprotínají se v jednom bodě. Nelze zcela odstranit, bod se zobrazí jako malý kroužek, lze zmírnit kombinací spojky a rozptylky.

Astigmatismus Dopadá-li šikmý paprsek nerovnoběžný s optickou osou, potom nejsou vlnoplochy po průchodu kulové. Je potřeba sledovat lom ve dvou rovinách (tangenciální a sagitální)

Distorze (zkreslení) objektivu Vady, které působí na geometrii zobrazení a mají vliv na přesnost měření. Vzniká při výrobě jako souhrn drobných nepřesností. Určení provádí výrobce nebo ji lze určit analyticky.

a) **radiální** - posun bodu o radiální vzdálenosti r' o hodnotu $\Delta r'$. Průběh není rotačně symetrický, ale předpokládá se při kompenzaci.

b) **tangenciální** - nepřesná centrace čoček. Kolmá na radiální, nepravidelné posuny. V praxi se zanedbává, protože je malá a těžko se kompenzuje.

Odstanění vlivu dist.: Dříve graficky, Porr-Kopp princip, kompenzační desky. Dnes se používá analytické odstranění na počítači. Nutný požadavek symetrické radiální distorze. Určí se vřícovací body, jejich rozdíl od skutečných hodnot se přiřadí radiální distorzi. Těmito hodnotami se proloží vhodná funkce. Laplaceův nebo Čebyševův polynom.

$$\Delta x = x'(a_1 r'^2 + a_2 r'^4 + a_3 r'^6) + b_1(r'^2 + 2x'^2) + 2b_2 x' y'$$

$$\Delta y = y'(a_1 r'^2 + a_2 r'^4 + a_3 r'^6) + b_2(r'^2 + 2y'^2) + 2b_2 x' y'$$

$$\text{Kde } r'^2 = x'^2 + y'^2$$

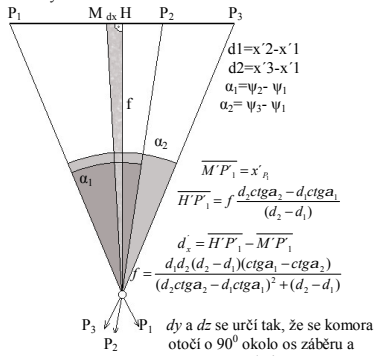
Určení PVO: - konstanta komory, souřadnice hl. sn. bodu

Určují se na základě zprostředkujícího měření.

1) jednoduché početní - **ověření konstanty komory** používají se 2 základnové o známé délce ve známé vzdálenosti za sebou kolmo na směr záběru.

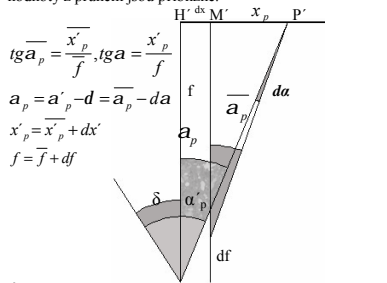
kde Δy je $y_1 - y_2$, což jsou vzdálenosti latí od roviny fotky.

Určení PVO bez vyrovnání - založeno na protínání zpět. Snímek s vodorovnou osou záměru se třemi jednoznačnými body, ne které se změní osnova směru teodolitem zcentrovaným na středem vstupní pupily komory.



2) přesné početní s vyrovnáním - je nutné znát přibližné hodnoty PVO. Zpracovává se kolem 15 měření. Podle toho, čemu se přisuzují opravy se rozlišují metody:

Gruberova je nejjednodušší a nejpoužívanější. Přisuzuje opravy měřením směrem. Vychází ze základních vztahů: hodnoty z pruhem jsou přibližné.



Úpravami dostaneme:
 $\text{tg} \overline{a_p} = \text{tg}(\overline{a_p} + da) = \frac{\overline{x'_p}}{f} = \frac{\overline{x'_p} + dx'}{\overline{f} + df}$

Taylorův rozvoj:
 $\text{tg} \overline{a_p} + \frac{1}{\cos^2 \overline{a_p}} da = \frac{\overline{x'_p}}{\overline{f}} + \frac{1}{\overline{f}} dx' - \frac{\overline{x'_p}^2}{\overline{f}^3} df$

Zbavíme se goniometrické funkce rozvojem do řady
 A dostaneme:

$$da = \frac{\overline{f}}{(\overline{x'_p}^2 + \overline{f}^2)} dx' - \frac{\overline{x'_p}}{(\overline{x'_p}^2 + \overline{f}^2)} df$$

$$da = \overline{a_p} - d - \overline{a_p}$$

A z toho rovnice opravy
 $v_{ap} = d + \frac{\overline{f}}{(\overline{x'_p}^2 + \overline{f}^2)} dx' - \frac{\overline{x'_p}}{(\overline{x'_p}^2 + \overline{f}^2)} df + (\overline{a_p} - a'_p)$

Hugershoffova dává opravy měřením sn. souřadnicím
 $\text{tg} \overline{a_p} + \frac{1}{\cos^2 \overline{a_p}} da = \frac{\overline{x'_p}}{\overline{f}} + \frac{1}{\overline{f}} dx' - \frac{\overline{x'_p}^2}{\overline{f}^3} df$

platí:
 $\text{tg} \overline{a_p} = \frac{\overline{x'_p}}{\overline{f}} \quad \text{tg} a'_p - \text{tg} \overline{a_p} \cong \frac{1}{\cos a_p} (a'_p - \overline{a_p})$

$$\frac{(a'_p - \overline{a_p} - d)}{\cos^2 \overline{a_p}} = \frac{(v_x + dx)}{\overline{f}} - \frac{\overline{x'_p}}{\overline{f}^2} df$$

$$(a'_p - \overline{a_p} - d) = \frac{\overline{f}}{\overline{f}^2 + \overline{x'_p}^2} v_x + \frac{\overline{f}}{\overline{f}^2 + \overline{x'_p}^2} dx' - \frac{\overline{f}}{\overline{f}^2 + \overline{x'_p}^2} df$$

Rovnice oprav bude:
 $v_x = -dx' + \frac{\overline{x'_p}}{f} df - \frac{\overline{f}}{f^2 + x_p'^2} d - \frac{\overline{f}}{f^2 + x_p'^2} (a'_p - \overline{a_p})$

Baeschlinova metoda opravy měřením směrem i sn. souř.
 $\text{tg}(\overline{a_p} + v_a - d)(\overline{f} + df) = \overline{x'_p} + v_x + dx'$

Taylorův rozvoj:
 $\left(\text{tg} \overline{a_p} - \frac{v - d}{\cos^2 \overline{a_p}} \right) (\overline{f} + df) = (\overline{x'_p} + v_x + dx')$

Rovn. opr.
 $\frac{\overline{f}^2 + \overline{x'_p}^2}{\overline{f}} v_a - v_x + \frac{\overline{x'_p}}{\overline{f}} df - \frac{\overline{f}^2 + \overline{x'_p}^2}{\overline{f}} d - dx' + \overline{f} \text{tg} \overline{a_p} - \overline{x'_p} = 0$

DLT direktivní lineární transformace

Když jsou známy prvky vnitřní a vnější orientace

Využívá přetvoření rovnic projektivní transformace

Zavede se substituce $\hat{a}_1 = x_0 r_{13} - f r_{11}, \hat{a}_2 = x_0 r_{23} - f r_{21}, \hat{a}_3 = \dots$

$$x' = \frac{\hat{a}_1 X + \hat{a}_2 Y + \hat{a}_3 Z + \hat{a}_4}{\hat{c}_1 X + \hat{c}_2 Y + \hat{c}_3 Z + \hat{c}_4} \quad \text{Tyto výrazy se vydělí}$$

$$z' = \frac{\hat{b}_1 X + \hat{b}_2 Y + \hat{b}_3 Z + \hat{b}_4}{\hat{c}_1 X + \hat{c}_2 Y + \hat{c}_3 Z + \hat{c}_4} \quad \text{konstantou } c^{\wedge} \text{ a dostaneme}$$

$$x' = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{c_1 X + c_2 Y + c_3 Z + 1} \quad \text{vztahy mezi snímkovými a geodetickými}$$

souřadnicemi. Koeficienty se určují MNC z rovnic oprav

$$v_x = a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 - c_1 X - c_2 Y - c_3 Z - 1$$

$$v_y = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 - c_1 X - c_2 Y - c_3 Z - 1$$

A PVO se vypočtou ze vztahů

$$d^2 = (c_1^2 + c_2^2 + c_3^2)^{-1}$$

$$x_0 = dx' = (a_1 c_1 + a_2 c_2 + a_3 c_3) d^2$$

$$y_0 = dy' = (b_1 c_1 + b_2 c_2 + b_3 c_3) d^2$$

$$f_x = \sqrt{[(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) d^2 - x_0^2]}$$

$$f_z = \sqrt{[(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) d^2 - z_0^2]}$$

$$f = (f_x + f_z) / 2$$

Kalibrace digitálních komor – určení vlastností použitého přístroje. Zjištění PVO. Uvažuje se konstanta komory, poloha H', radiálně symetrická

distorze, tangenciální distorze, afinita...

Laboratorní kalibrace: pro přesné měřické komory pomocí goniometru a kolimátoru

Pomocí testovacího pole (tp): snímkuje se tp z vhodně umístěných stanovisek. Testovací pole obsahuje referenční body o známých souřadnicích. Z měřených snímkových souřadnic a referenčních souřadnic se vypočtou vyrovnané souřadnice bodů tp a také PVO. Souřadnice se počítají metodou volné sítě. Je důležité volit správnou konfiguraci snímků, aby nedošlo k nežádoucí korelaci.

Kalibrace na olovnicové závěsy – tímto postupem se určuje pouze zkruslení. Vypočtené parametry nejsou korelované s ostatními prvky vnitřní a vnější orientace.

Kalibrace on the job – kombinace kalibrace pomocí tp a zároveň vlastního snímkování objektu. Používá se, když vlastní objekt nemá žádnou vlastní strukturu a nejsou známy geometrické informace. Body tp lze použít jako vřícovací body.

Simultánní kalibrace – Snímky pro kalibraci jsou použity i pro vlastní vyhodnocení objektu. Tp je jeho součástí. PVO se určuje přímo pro časový okamžik snímkování měřeného objektu. Není nutné znát souřadnice bodů tp. Je potřeba znát délku pro určení měřítka.

Jednosnímková fotogrammetrie - vztah mezi dvěma rovinami. Výsledkem je fotoplán nebo fotomapa.

Matematickým základem je kolineární transformace. Pro řešení je třeba 5 vřícováků, po vydělení konstantou 4 vřícováků. Vztah definuje středové promítání (také projektivní transformaci).

$$X = \frac{a_1 x' + a_2 y' + a_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1} \quad Y = \frac{b_1 x' + b_2 y' + b_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1}$$

Využití jednosnímkové fotky je při zaměřování fasád staveb, fresek. Je nutné brát v úvahu maximální

hloubkovou členitost objektu., $\Delta y_{\max} = \frac{f \cdot m_f \cdot \Delta r''}{r'}$ $\Delta r''_{\max}$ - max rozdíl ve fotoplánu.

Vliv výškové členitosti – způsobuje radiální posuny jako $\Delta r'' = \frac{\Delta h \cdot r'}{f \cdot m_f}$ hloubková členitost objektů. Z čehož se dá určit maximální členitost terénu.

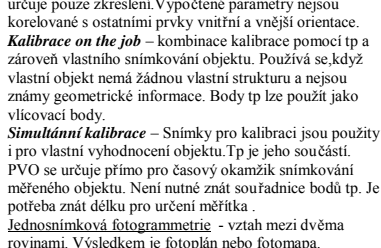
Metody vyhodnocení Grafické metody jsou nejstarší a přímo vychází z Pappovy věty. Je určena pro bodové vyhodnocení. Lze zakreslit síť a odečítat polohu.

Obkreslovač – velmi nepřesný, kresba přímo do mapy pomocí pozorování snímku i mapy současně.

Překreslovač – opticko-mechanické zařízení, které provádí převod šikmého snímku na svislý v požadovaném měřítku pomocí licovacího podkladu.

Digitální překreslení – nejjednodušší forma digitální fotogrammetrie. Lze překreslovat pouze rovinný předmět nebo terén. Použití softwaru, který provádí kolineární transformaci za základě vřícováků. Nutné jsou čtyři vřícováků, pokud je jich víc, nastane vyrovnání.

Průřezová fotogrammetrie – protínání vřícení pomocí měřických snímků



Řešení v současnosti spočívá ve využití základních fotogrammetrických vztahů

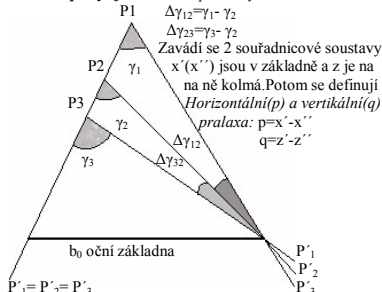
$$X - X_0 = (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x' - x_0) + r_{12}(y' - y_0) - r_{13}f}{r_{31}(x' - x_0) + r_{32}(y' - y_0) - r_{33}f}$$

$$Y - Y_0 = (Z - Z_0) \frac{r_{21}(x' - x_0) + r_{22}(y' - y_0) - r_{23}f}{r_{31}(x' - x_0) + r_{32}(y' - y_0) - r_{33}f}$$

R je matice rotace, X, Y, Z jsou geodetické souřadnice, X₀, Y₀, Z₀ jsou souřadnice projekčního centra x', z', (-f) jsou měřené snímkové souřadnice x₀, z₀ jsou souřadnice hl.sn. bodu. Vypočet neznámých ωφκ, X₀, Y₀, Z₀ případně f, dx', dz' se počítají iterací z vřícováků. Jsou potřeba jejich přibližné hodnoty.

Zemní stereofotogrammetrie

Stereoskopický vjem Úhlové paralaxy

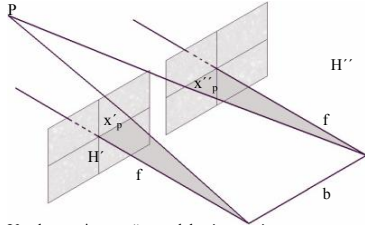


Zavádí se 2 souřadnicové soustavy $x(x')$ jsou v základně a z je na ně kolmá. Potom se definují **Horizontální(p) a vertikální(q) paralaxa:** $p = x - x''$
 $q = z - z''$

$y \equiv \frac{b_0 \cdot r}{g} \quad dy = \frac{-y^2}{b_0 \cdot r} dg$

Pozemní stereofotogrammetrie Rozlišují se případy

Normální případ-osy záběru jsou kolmé na základnu



Vztahy mezi sn.souř a modelovým systémem:

$\frac{y}{f} = \frac{b}{p}, x = \frac{b \cdot x'}{p}, y = \frac{b \cdot f}{p} = y \frac{x'}{f}, z = \frac{b \cdot z'}{p} = y \frac{z'}{f}$

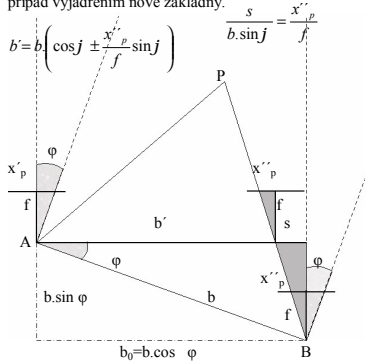
Pro přesnost vytvoříme totální diferenciál z y:

$dy = \frac{f}{p} db + \frac{b}{p} df - \frac{b \cdot f}{p^2} dp$ Protože v praxi postačí vliv horizontální paralaxy, první dva členy se zanedbají a do

vzorce se dosadí $p^2 = \left(\frac{b \cdot f}{y}\right)^2$

Stejně se určí chyby pro x a z.

Stočený případ-pokud osy záběru rovnoběžně směřují o jistý úhel phi vpravo nebo vlevo. Převádí se na normální případ vyjádřením nové základny.



Výpočetní vzorce pro souřadnice a přesnost budou stejné, ale pro každý bod bude jiné b'.

Konvergentní a divergentní případ -osy záběru nejsou rovnoběžné.

Délka základny-základní parametr při stereofotogr.

Základnový poměr b/y definuje přesnost souřadnic.

Délku základny určuje vzdálenost nejbližších a nejbližších bodů, které budou vyhodnoceny. Nejvhodnější délka základny vychází z normálního případu. Vychází se z y, protože vykazuje nejhorší přesnost. Pro přesnost vyhodnocení je nejdůležitější jaká je minimální délka základny.

$dy = -\frac{y \cdot y}{b \cdot f} dp \Rightarrow b = -\frac{y}{dy} \cdot \frac{y}{f} dp$

$b_{min} = y_{max} \frac{y}{dy} \frac{dp}{f} \cong y_{max} \frac{10mm}{f[mm]} \quad dp=0,01mm \quad y/dy=1000/1$

Maximální délka vychází z podmínek stereoskopického vjemu. Oči jsou schopné stereoskopického vjemu při paralaxách menších 40-50mm.

$b_{max} = y_{min} \frac{P_{max}}{f}$

Justáže komor ověření kondice komory (zavedení oprav)

- a) kontrola f, dx', dz' (výpočtem)
- b) kontrola kolmosti vertikální osy k ose libel (nivelaci)
- c) orientace-záměrná osa dalekohledu v jedné rovině s osou záběru → cílení na určitý bod a následně fotografování
- d) svislá poloha rámu (fotografováním dvou olovníc)
- e) přítlačné zařízení-zda se film nebo deska dostatečně přitlačí k značkovému rámu-zavedení oprav
- f) rovina snímku má být rovnoběžná s rovinou rámu-focení dvou olovníc-na snímcích se měří vzdálenosti závěsů dole

$\Delta v = f \frac{(\Delta x'_1 - \Delta x'_2) r''}{x'_1 + x'_2 + z'} = 0 \quad (\Delta x_2) \text{ a nahoře } (\Delta x_1)$

f) rektifikace libel g) záměrné zařízení