

Określenie współrzędnych terenowych punktów metodą przestrzennego wcięcia w przód na podstawie zdjęć lotniczych (metoda zdjęć ekwiwalentnych).

I. Wyznaczenie elementów orientacji zewnętrznej zdjęć lotniczych metoda wcięcia wstecz

1. Podstawy teoretyczne

Zależność pomiędzy wektorami: w przestrzeni przedmiotowej dla punktu terenowego i przestrzeni obrazowej dla obrazu punktu na zdjęciu (obu zaczepionych w środku rzutów kamery), wyrazić można wykorzystując równanie kolinearności:

$$\bar{X} = \lambda \cdot A \cdot \bar{x}$$

lub w postaci odwrotnej: $\bar{x} = \frac{1}{\lambda} \cdot A^{-1} \cdot \bar{X}$ przy czym $A^{-1} = A^T$

Gdzie:

\bar{x} - wektor w przestrzeni obrazowej,

\bar{X} - wektor w przestrzeni przedmiotowej,

λ - współczynnik skalowy,

A - macierz obrotu układu zdjęcia do układu terenowego.

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -c_k \end{bmatrix}$$

x', y' – współrzędne tłowe punktu,
 c_k – odległość obrazowa

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

X, Y, Z – współrzędne terenowe punktu,
 X_0, Y_0, Z_0 – współrzędne środka rzutów (niewiadome)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

a_{11}, \dots, a_{33} – elementy macierzy obrotu będące funkcją trzech niewiadomych kątów.

Gdzie:

$$a_{11} = \cos \phi \cos \kappa$$

$$a_{12} = -\cos \phi \sin \kappa$$

$$a_{13} = \sin \phi$$

$$a_{21} = \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{22} = \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{23} = -\sin \omega \cos \phi$$

$$a_{31} = \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa$$

$$a_{32} = \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{33} = \cos \omega \cos \phi$$

Macierz A^{-1} można również zapisać w postaci trzech podmacierzy:

$$A^{-1} = A^T = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} \quad M_i = [a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}]$$

Współczynnik skalowy λ jest różny dla każdego wektora. W rozwiązywanym zagadnieniu nie jest nam potrzebna znajomość tego współczynnika, dlatego możemy wyeliminować go z równania kolinearności.

$$x' = -c_k \cdot \frac{M_1 \bar{X}}{M_3 \bar{X}} = F_1$$

$$y' = -c_k \cdot \frac{M_2 \bar{X}}{M_3 \bar{X}} = F_2$$

Powyższe równania są nieliniowe (kątowe elementy orientacji zewnętrznej ω , ϕ , κ w elementach a_{ij} macierzy A) rozwijamy je w szereg i różniczkujemy funkcje F_1 i F_2 ze względu na poszukiwane elementy orientacji zewnętrznej z pominięciem wyrazów wyższego rzędu. Otrzymujemy wówczas podstawowe równania obserwacyjne dla rozwiązania zagadnienia określenia elementów orientacji zewnętrznej:

$$\frac{\delta F_1}{\delta X_0} dX_0 + \frac{\delta F_1}{\delta Y_0} dY_0 + \frac{\delta F_1}{\delta Z_0} dZ_0 + \frac{\delta F_1}{\delta \omega} d\omega + \frac{\delta F_1}{\delta \phi} d\phi + \frac{\delta F_1}{\delta \kappa} d\kappa + F_1(0) - x' = 0$$

$$\frac{\delta F_2}{\delta X_0} dX_0 + \frac{\delta F_2}{\delta Y_0} dY_0 + \frac{\delta F_2}{\delta Z_0} dZ_0 + \frac{\delta F_2}{\delta \omega} d\omega + \frac{\delta F_2}{\delta \phi} d\phi + \frac{\delta F_2}{\delta \kappa} d\kappa + F_2(0) - y' = 0$$

Z uwagi na linearyzację równań niewiadomymi są przyrosty do przyjętych początkowych wartości niewiadomych (elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia). Duże przybliżenie tych początkowych wartości niewiadomych powoduje konieczność wykonania obliczeń na drodze iteracyjnej.

Jednoznaczne rozwiązanie uzyskamy dysponując trzema punktami terenowymi i odpowiadającymi im obrazami na zdjęciu. W przypadku większej ilości punktów po prawej stronie równań pojawią się poprawki v_x , v_y i zagadnienie rozwiązujemy stosując metodę najmniejszych kwadratów.

2. Pomiar współrzędnych tłowych punktów kontrolnych i punktów wyznaczanych z wykorzystaniem VSD.

Pomiar punktów kontrolnych na zeskanowanych zdjęciach lotniczych wykonywany jest z wykorzystaniem Video Stereo Digitizera (VSD) pracującego w trybie monokomparatora. Przed rozpoczęciem właściwego pomiaru punktów kontrolnych należy pomierzyć znaczki tłowe [i] wpisując z klawiatury ich znane współrzędne tłowe (znane z metryki kalibracji kamery).

Następnie wykonuje się orientację wewnętrzną [klawisz F5] wybierając transformację biliniową jako funkcję do transformacji układu obrazowego (pikselowego) na układ tłowy. Program wykonuje wstępnie transformację Helmerta (transformacja przez podobieństwo) na podstawie wyników której można stwierdzić występowanie błędów grubych. Jeżeli błędy po transformacji Helmerta nie przekraczają 1.5 piksela można uznać, że transformacja docelowa (biliniowa) jest poprawna. W innym przypadku należy powtórzyć pomiar znaczków tłowych dla których stwierdzono największe odchyłki.

Pomiar 5 punktów kontrolnych oraz punktów wyznaczanych wykonuje się z wykorzystaniem klawisza [j], numer punktu wpisujący jest z klawiatury. Po zakończeniu pracy VSD wyniki pomiaru wszystkich punktów (zarówno w układzie obrazowym jak i tłowym) zapisane są w pliku NazwaZadania.or, umieszczonym w katalogu roboczym.

3. Obliczenie elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia lotniczego (fotogrametryczne wcięcie wstecz)

Fotogrametryczne wcięcie wstecz, zgodnie z teorią podaną w p.1 realizuje program WCWSTECZ.EXE. Danymi niezbędnymi do realizacji tego zadania są:

- współrzędne tłowe 5 fotopunktów oraz c_k (dane te umożliwiają rekonstrukcję wiązki promieni rzutujących),
- współrzędne terenowe 5 fotopunktów, oraz
- przybliżone elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia.

Ze względu na to, że równania obserwacyjne powstały w wyniku rozwinięcia w szereg funkcji nieliniowej, to niewiadomymi nie są wielkości elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia, lecz ich przyrosty w stosunku do przybliżonych wartości początkowych. Stąd istnieje konieczność określenia przybliżonych wartości elementów orientacji ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$).

Ponieważ szeregowo zdjęcia lotnicze wykonywane są, jako zdjęcia prawie pionowe możemy przyjąć, że przybliżone wartości kątów są równe zero. Przybliżone współrzędne X_0, Y_0 środka rzutów możemy przyjąć jako współrzędne X, Y fotopunktu leżącego najbliżej środka zdjęcia (wystarczy z dokładnością do 10 m). Natomiast przybliżoną współrzędną Z_0 środka rzutów wyznaczamy następująco:

- wybieramy dwa z pomierzonych fotopunktów leżące w przeciwległych narożnikach zdjęcia,
- ze współrzędnych tłowych dla tych punktów obliczamy ich wzajemną odległość na zdjęciu

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

- ze współrzędnych terenowych dla tych punktów liczymy poziomą odległość pomiędzy punktami w terenie

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

mając d, D i c_k . możemy skorzystać ze znanej ogólnie zależności:

$$\frac{1}{m_z} = \frac{c_k}{W} = \frac{d}{D}$$

z której obliczamy :

$$W = c_k \cdot \frac{D}{d}$$

mając wysokość końców odcinka D obliczamy jego średnią wysokość D

$$Z_D = \frac{Z_1 + Z_2}{2}$$

ostatecznie przybliżona wysokość środka rzutów będzie sumą wysokości lotu W oraz średniej wysokości tego odcinka:

$$Z_0 = W + Z_D$$

Sposób przygotowania danych do programu WCWSTECZ .

Zbiór wejściowy do tego programu najprościej jest utworzyć przeredagowując zbiór wynikowy z programu VSD zawierający współrzędne tłowe fotopunktów.

Kontrolą poprawności wykonania tematu jest wielkość błędu m_0 , która nie powinna być większa od 0.02 mm (m_0 - drukowana jest w zbiorze wynikowym). Przy $m_0 > 0.02$ mm konieczna jest konsultacja z prowadzącym zajęcia. Do sprawozdania należy dołączyć wydruk zbioru wejściowego i wynikowego programu WCWSTECZ.

PROGRAM WCWSTECZ (opis wejścia i wyjścia)

Program służy do obliczania elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia lotniczego (fotogrametryczne wcięcie wstecz).

Dane: w zbiorze o dowolnej nazwie (długość nazwy max 30 znaków)

Postać danych:

1. wiersz: dowolny komentarz (max. 30 znaków)
 2. wiersz: ck (stałą kamery [mm]), X_0 , Y_0 , Z_0 (przybliżone współrzędne terenowe środka rzutów [m]) , Omega, Fi, Kappa (przybliżone elementy kątowe orientacji [g])
 3. wiersz i następne: punkty do wykonania wcięcia wstecz:
nr. x, y (współrzędne tłowe), X_g , Y_g , Z_g (współrzędne terenowe)
- ostatni wiersz: 0. 0. 0. 0. 0. 0. jako oznacznik końca zbioru

Wyniki: w zbiorze o podanej w trakcie obliczeń nazwie (max. 30 znaków)

W zbiorze znajduje się:

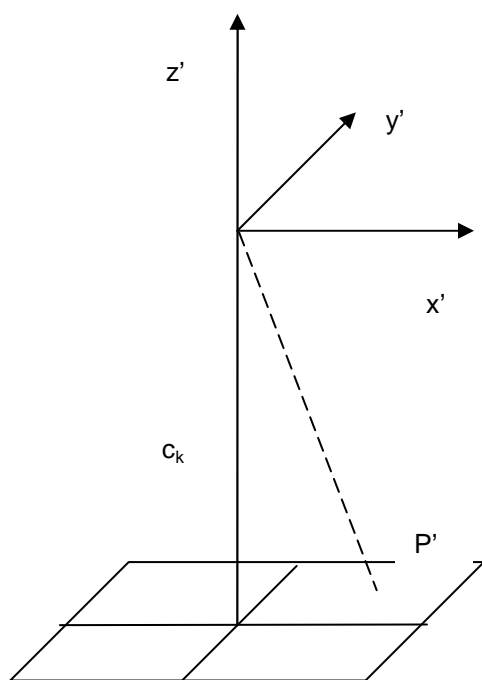
dokumentacja obliczeń,
obliczone współrzędne środka rzutów [m],
obliczone kątowe elementy orientacji [g],
odchyłki współrzędnych na punktach wpasowania,
średni błąd m_0 wpasowania wiązki w zdjęcie,
macierz transformacji.

II. Obliczenie terenowych współrzędnych punktów wyznaczanych z wykorzystaniem metody stereogramu ekwiwalentnych zdjęć zwróconych

Analityczne wcięcie w przód można przeprowadzić metodą polegającą na przekształceniu każdego ze zdjęć (lewego i prawego) do położenia pionowego. Przekształcenie to wykonuje się poprzez przeliczenie współrzędnych tłowych zdjęcia o położeniu dowolnym na współrzędne teoretycznego zdjęcia ekwiwalentnego pionowego w układzie równoległym do układu geodezyjnego (patrz rys. 2). Umożliwi to skorzystanie z prostych wzorów dla stereogramu zdjęć lotniczych zwróconych (tzn. o równoległych osiach kamer).

Dane do obliczeń :

- elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia lewego i prawego obliczone z wcięcia wstecz :
 $X_{0L}, Y_{0L}, Z_{0L}, \omega_L, \varphi_L, \kappa_L,$
 $X_{0P}, Y_{0P}, Z_{0P}, \omega_P, \varphi_P, \kappa_P,$
- współrzędne punktów do wcięcia w przód pomierzone na zdjęciu lewym i prawym, przetransformowane do przestrzennego układu tłowego.



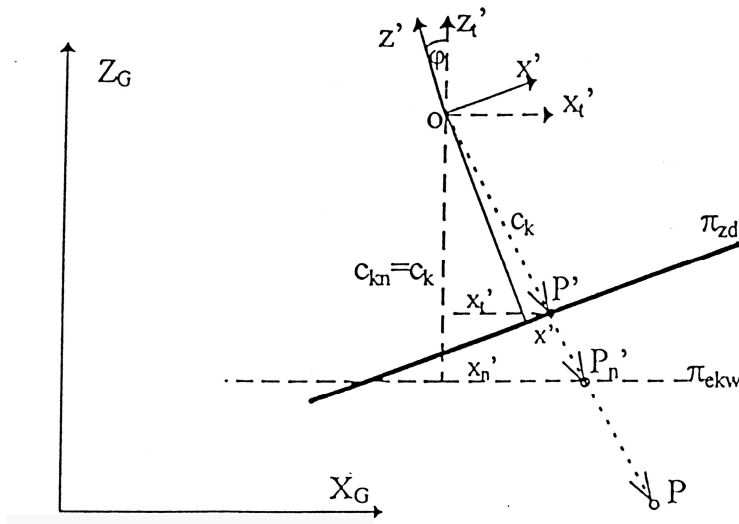
Rys. 1: Przestrzenny układ tłowy.

$P(x', y')$ - współrzędna w układzie tłowym,

$P(x', y', -c_k)$ - współrzędna w przestrzennym układzie tłowym

OBLICZENIA:

1. Transformacja współrzędnych punktu z układu przestrzennego tłowego do układu równoległego do układu geodezyjnego



Rys.2. Zdjęcie ekwiwalentne pionowe

$$\begin{bmatrix} x'_t \\ y'_t \\ z'_t \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -c_k \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$a_{11} = \cos \phi \cos \kappa$$

$$a_{12} = -\cos \phi \sin \kappa$$

$$a_{13} = \sin \phi$$

$$a_{21} = \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{22} = \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{23} = -\sin \omega \cos \phi$$

$$a_{31} = \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa$$

$$a_{32} = \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa$$

$$a_{33} = \cos \omega \cos \phi$$

2. Wiązkę promieni w przestrzeni obrazowej przecinamy płaszczyzną zdjęcia ekwiwalentnego π_{in} , dla którego $c_{kn} = c_k$.

Przeliczamy współrzędne punktów zdjęcia oryginalnego na współrzędne punktów zdjęcia ekwiwalentnego w układzie x'_t, y'_t, z'_t .

Wykorzystujemy do tego równanie kolinerności wektorów w przestrzeni obrazowej r', r'_n :

$$r' = \lambda r'_n$$

$$\lambda = \frac{r}{r'_n}$$

$$\frac{x'_t}{x'_n} = \frac{y'_t}{y'_n} = \frac{z'_t}{z'_n}$$

$$z'_n = -c_k$$

$$x'_n = \frac{x'_t \cdot (-c_k)}{z'_t}$$

$$y'_n = \frac{y'_t \cdot (-c_k)}{z'_t}$$

3. Obliczamy przyrosty współrzędnych terenowych w stosunku do lewego środka rzutów, wykorzystując wzory dla zdjęć zwróconych :

$$\Delta Z = \frac{b_x(-c_k) - b_z x'_{nP}}{x'_{nL} - x'_{nP}}$$

$$\Delta X = \frac{\Delta Z}{-c_k} x'_{nL}$$

$$\Delta Y_L = \frac{\Delta Z}{-c_k} y'_{nL}$$

$$\Delta Y_P = b_y + \frac{\Delta Z - b_z}{-c_k} y'_{nP}$$

$$\Delta Y = \frac{\Delta Y_L + \Delta Y_P}{2}$$

gdzie: $b_x = X_{0P} - X_{0L}$

$$b_y = Y_{0P} - Y_{0L}$$

$$b_z = Z_{0P} - Z_{0L}$$

4. Obliczamy współrzędne w układzie geodezyjnym :

$$Z_G = Z_{0L} + \Delta Z$$

$$X_G = X_{0L} + \Delta X$$

$$Y_G = Y_{0L} + \Delta Y$$