Метод на моделите. Фототриангулация по метода на частично зависимите модели

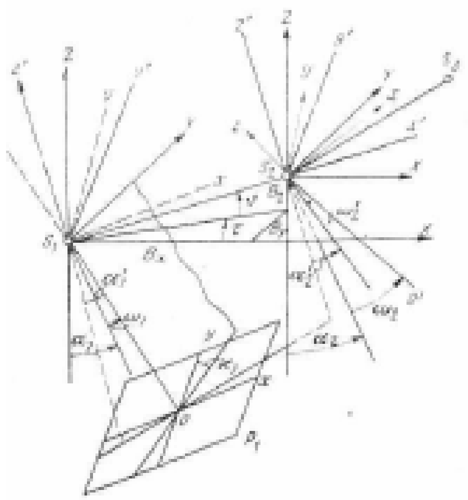
Този метод позволява последователно да се построят по стерео двойки частично зависими модели и след това те да се съединят в общ модел, който да се ориентира по отношение на геодезическата координатна система.

За построяване на първия модел произволно се избират елементите на външното ориентиране (ЕВО) лявата снимка от първата стерео двойка от дадена ивица (маршрут).

След това се определят елементите на взаимното ориентиране на първата стерео двойка и се изчислява посочния ъгъл и ъгъла на наклона на първата база на фотографиране, а така също и елементите на външното ориентиране на дясната снимка от първата стереодвойка.

При това дължината на базата на фотографиране се избира произволно. Знаейки елементите на ориентиране на снимките и координатите на съответните точки от първата стереодвойка се намират координатите на точките от първия модел чрез използване на прави фотограметрични засечки. Аналогично се създава вторият и следващите модели, само че за ЕВО на лявата снимка от втората (следващата) стереодвойка се приемат не произволни величини, а получените в резултат на обработката на първата (предишната) стереодвойка.

Изпълнението на това условие позволява построяване на мрежата за всички модели в единна координатна система приета при създаване на първия модел. При това мащабът на следващия модел се отличава от този на предишния тъй като дължината на фотограметричната база се избира произволно при построяването на всеки модел. Всеки следващ модел се привежда към мащаба на предишния по свързващи точки. Полученият по такъв начин общ модел се ориентира по опорни точки и се отстранява неговата деформация.



(фиг.52)

Посочният ъгъл τ и ъгъл на наклона ν на базата на фотографиране се намират по ъгловите ЕВО на лявата снимка $\alpha_1, \omega_1, \chi_1$ и елементите на взаимно ориентиране $\alpha_1^{'}, \chi_1^{'}$. Ъглите $\alpha_1, \omega_1, \chi_1$ определят ориентацията на координатната система S_1xyz по отношение на координатната система S_1XYZ, като на системата съответства матрицата

$$A_{\alpha_1\omega_1\chi_1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ b_{11} & b_{21} & b_{31} \\ c_{11} & c_{21} & c_{31} \end{bmatrix} \qquad (125)$$

Ъглите τ и ν се получават по направляващите косинуси като Ойлерови ъгли. За целта координатната система S_1xyz се поставя в положението $S_1x^{'}y^{'}z^{'}$, при което оста $x^{'}$ съвпада с базата на фотографиране, а оста $z^{'}$ се намира в главната равнина на лявата снимка S_1oS_2. За да получи координатната система S_1xyz това положение ще завъртим на ъгли $\chi_1^{'}$ и $\alpha_1^{'}$. На това завъртване съответства матрицата

$$A^{'}_{\alpha_1^{'}\chi_1^{'}} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_3 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix}, \qquad (126)$$

която се получава по пътя на транспониране на матрицата

$$A_{\alpha_1^{'}\chi_1^{'}} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \qquad (127)$$

Елементите на тези матрици се намират при приемане на $\omega = 0, \alpha = \alpha^{'}, \chi = \chi^{'}$. Взаимното положение на координатните системи $S_1x^{'}y^{'}z^{'}$ и S_1XYZ се определя от матрицата

$$A_{\tau\upsilon} = A_{\alpha_1\omega_1\chi_1} A^{'}_{\alpha_1^{'}\chi_1^{'}} = \begin{bmatrix} (a_1) & (a_2) & (a_3) \\ (b_1) & (b_2) & (b_3) \\ (c_1) & (c_2) & (c_3) \end{bmatrix} \qquad (128)$$

При въвеждане на ъглите α, ω, χ за основни оси са приети z и Z, а при използване на ъглите τ и ν -оси **x** и **X**. При тези предпоставки излиза, че ъглите α и ω съответстват на $-\tau$ и $-\nu$, определени по формули:

$$\tan\alpha = {-a_3}/{c_3}; \sin\omega = -b_3, \qquad (129)$$

по пътя на циклична замяна на буквите и индексите: (a заменяме с b, b заменяме с, c заменяме с a; индексите 1,2,3 с 2,3,1. Така ще получим:

$$\tan\tau = {(b_1)}\big/{(a_1)}; \sin\nu = c_1 \tag{130}$$

Ъгловите елементи на външното ориентиране на дясната снимка по ъгловите елементи на ориентиране на лявата снимка и по елементите на взаимното ориентиране.

Пренасяйки координатната система $S_1x^{'}y^{'}z^{'}$ успоредно от левия край на базата S_1в десния S_2и завъртайки я на ъгли $\alpha_2^{'}.\varpi_2^{'},\chi_2^{'}$ тя ще съвпадне със системата S_2xyz на дясната снимка. При това оста z ще съвпада с главният лъч $S_2o^{'}$ на дясната връзка. Положението на системата S_2xyz по отношение на S_2XYZ се определя от матрицата:

$$A_{\alpha_2,\omega_2,\chi_2} = A_{\tau,\nu}A_{\alpha_2^{'},\omega_2^{'},\chi_2^{'}}, \tag{131}$$

където

$$A_{\alpha_2^{'},\omega_2^{'},\chi_2^{'}} = \begin{bmatrix} a_1^{'} & a_2^{'} & a_3^{'} \\ b_1^{'} & b_2^{1} & b_3^{'} \\ c_1^{'} & c_2^{'} & c_3^{'} \end{bmatrix}. \tag{132}$$

За елементите на тази матрица са в сила формулите:

$$a_1^{'} = \cos\alpha_2^{'}\cos\chi_2^{'} - \sin\alpha_2^{'}\sin\omega_2^{'}\sin\chi_2^{'} \qquad a_2^{'} = -\cos\alpha_2^{'}\sin\chi_2^{'} - \sin\alpha_2^{'}\sin\omega_2^{'}\cos\chi_2^{'}$$

$$a_3^{'} = -\sin\alpha_2^{'}\cos\omega_2^{'} \qquad b_1^{'} = \cos\omega_2^{'}\sin\chi_2^{'} \qquad b_2^{'} = \cos\omega_2^{'}\cos\chi_2^{'} \qquad b_3^{'} = -\sin\omega_2^{'}$$

$$c_1^{'} = \sin\alpha_2^{'}\cos\chi_2^{'} + \cos\alpha_2^{'}\sin\omega_2^{'}\sin\chi_2^{'} \qquad c_2^{'} = -\sin\alpha_2^{'}\sin\chi_2^{'} + \cos\alpha_2^{'}\sin\omega_2^{'}\cos\chi_2^{'}$$

$$c_3^{'} = \cos\alpha_2^{'}\cos\omega_2^{'} \tag{133}$$

Можем да напишем:

$$A_{\alpha_2\omega_2\chi_2} = A_{\alpha_1\omega_1\chi_1}A^{'}_{\alpha_2^{'}\omega_2^{'}\chi_2^{'}} = \begin{bmatrix} a_{12} & a_{22} & a_{33} \\ b_{12} & b_{22} & b_{32} \\ c_{12} & c_{22} & c_{32} \end{bmatrix}. \tag{134}$$

Тогава ще получим:

$$\tan\alpha_2 = -\frac{a_{32}}{c_{32}}; \sin\omega_2 = -b_{32}; \tan\chi_2 = \frac{b_{12}}{b_{22}} \tag{135}$$

Нарастванията на фотограметричните координати на десния снимачен център S_2 по отношение на левия S_1 се определят по формулите:

$$B_X = B\cos\nu\cos\tau; B_Y = B\cos\nu\sin\tau; B_Z = B\sin\nu, \tag{135}$$

където **B** е базата на фотографиране.

Координатите на десния център на проектиране се определят по формулите:

$$X_{S_2} = X_{S_1} + B_X; Y_{S_2} = Y_{S_1} + B_Y; Z_{S_2} = Z_{S_1} + B_Z \tag{136}$$

За построяването на модела можем да приведем координатите на съответните точки от стереодвойките към хоризонтални снимки. Така се стига до формулите:

$$x_1^0 = -f\frac{X_1^{'}}{Z_1^{'}}; x_2^0 = -f\frac{X_2^{'}}{Z_2^{'}};$$
$$y_1^0 = -f\frac{Y_1^{'}}{Z_1^{'}}; x_2^0 = -f\frac{Y_2^{'}}{Z_2^{'}};$$
, (137)

където $X_1^{'}, Y_1^{'}, Z_1^{'}$ са пространствените координати на точките от лявата снимка, като функции на координатите x_1, y_1 и елементите a_{i1}, b_{i1}, c_{i1} на ротационната матрица;

$X_2^{'}, Y_2^{'}, Z_2^{'}$- пространствените координати на точките от дясната снимка като функции на координатите x_2, y_2 и елементите a_{i1}, b_{i1}, c_{i1} на ротационната матрица;

f-фокусното разстояние на снимката. Като вземем в предвид ,че:

$X_0 = B_X; Z_0 = B_Z; X^{'} = x^0, Z^{'} = -f$ ще получим:

$$\Delta X = Nx_1^0; \Delta Y = Ny_1^0; \Delta Z = -Nf;\ N = \frac{Z_0 X_2^{'} - X_0 Z_2^{'}}{Z_1^{'} X_2^{'} - X_1^{'} Z_2^{'}} = \frac{B_X + \frac{x_2^0}{f} B_Z}{x_1^0 - x_2^0} \qquad (138)$$

Аналогично построяваме втория модел, използвайки в качеството на елементи на външното ориентиране на лявата снимка величини, получени при създаване на първия модел. За привеждане на втория модел в мащаба на първия се изчислява мащабният коефициент по формулата:

$$k = D / D^{'} \qquad (139)$$

, където Dи $D^{'}$ са разстоянията от точката на фотографиране S_2 до свързващите точки на първия и втория модел.

фиг. 53

Разстоянията се изчисляват от координатите на свързващите точки и S_2

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \qquad (140)$$

Обикновено мащабния коефициент се определя по центъра и две свързващи точки, като за приблизително се използва среднотежестната стойност. Координатите на S_3 и всички точки от втория модел в системата от координати на първия модел се определят по формулите:

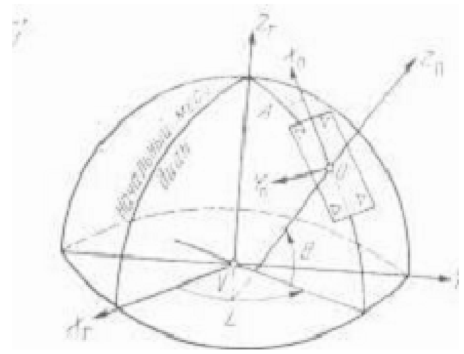
$$X_{S_3} = X_{S_2} + kB_X ; X = X_{S_2} + k\Delta X$$
$$Y_{S_3} = Y_{S_2} + kB_Y ; Y = Y_{S_2} + k\Delta Y \quad , \qquad (141)$$
$$Z_{S_3} = Z_{S_2} + kB_Z ; Z = Z_{S_2} + k\Delta Z$$

където B_X, B_Y, B_Z са компонентите на базиса на фотографиране;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ нарастванията в координатите на точките от втория модел спрямо S_2.

Аналогично построяваме и привеждаме в подходящ мащаб третия и останалите модели. В резултат получаваме модел на ивицата (маршрута) в единна система от координати.

В общият случай фотограметричната мрежа може да има значителна дължина, простирайки се в няколко ивици в координатната система на Гаус. Началото и направленията на координатните оси в този случай се определят за всяка от зоните. За единна координатна система в тези случай се приема Геоцентрична координатна система с начало в центъра на референтния елипсоид ($X_Г, Y_Г, Z_Г$)



фиг. 54

При външното ориентиране на такива мрежи е необходимо да се изключат деформациите, възникващи в процеса на построение. За целта се използват полиноми, като геодезическите и фотограметрични координатни системи се избират така , че да са приблизително успоредни. Тъй като последното често е невъзможно, се използват междинни координатни системи, която се ориентира в желаното положение и след това се намират елементите на ориентиране спрямо тази координатна система. Използвайки полиноми се внасят поправки към тези координати заради деформациите на модела. След това от тези координати се преминава към геоцентрични, а след това към Гаусови. За начало на междинната координатна система се приема центъра на тежестта на опорните точки:

$$L_0 = \frac{1}{n}\sum L_i ; X_{Г,O} = \frac{1}{n}\sum X_Г$$
$$B_0 = \frac{1}{n}\sum B_i ; Y_{Г,O} = \frac{1}{n}\sum Y_Г \quad , \qquad (142)$$
$$H_0 = \frac{1}{n}\sum H_i ; Z_{Г,O} = \frac{1}{n}\sum Z_Г$$

където L_i, B_i, H_i са географските координати на опорните точки;

n е броят опорни точки;

Оста Z_N съвпада с нормалата към елипсоида, а оста X_N е ориентирана така, че да е допирателна през меридиана през точката. Направляващите косинуси, даващи ориентирането на междинната и геоцентричната координатни системи се дават с формулите:

$$a_1 = -\cos L_0 \sin B_o \cos A_0 - \sin A_0 \sin L_0 \qquad a_2 = -\cos L_0 \sin B_o \sin A_0 - \cos A_0 \sin L_0$$
$$a_3 = \cos L_0 \cos B_o \qquad b_1 = -\sin L_0 \sin B_o \cos A_0 - \sin A_0 \cos L_0$$
$$b_2 = -\sin L_0 \sin B_o \sin A_0 - \cos A_0 \cos L_0 \qquad b_3 = \sin L_0 \cos B_o$$
$$c_1 = \cos B_o \cos A_0 \qquad c_2 = \cos B_o \sin A_0 \qquad c_3 = \sin B_o \qquad (143)$$

Координатите на точките в междинната координатна система ще се получат по формулите:

$$X_П = a_1(X_Г - X_{Г,O}) + b_1(Y_Г - Y_{Г,O}) + c_1(Z_Г - Z_{Г,O})$$
$$Y_П = a_2(X_Г - X_{Г,O}) + b_2(Y_Г - Y_{Г,O}) + c_2(Z_Г - Z_{Г,O}) \qquad (144)$$
$$Z_П = a_3(X_Г - X_{Г,O}) + b_3(Y_Г - Y_{Г,O}) + c_3(Z_Г - Z_{Г,O})$$

Началото на фотограметричната координатна система се пренася също в центъра на тежестта на опорните точки:

$$X_0 = \frac{1}{n}\sum X_i ; Y_0 = \frac{1}{n}\sum Y_i ; Z_0 = \frac{1}{n}\sum Z_i \qquad (145)$$

Новите фотограметрични координати ще имат вида:

$$X' = X - X_0 ; Y' = Y - Y_0 ; Z' = Z - Z_0 , \qquad (146)$$

а мащабния коефициент от опорните точки:

$$r = \frac{D_Г}{D} = \frac{\sqrt{\Delta X_Г^{\,2} + \Delta Y_Г^{\,2} + \Delta Z_Г^{\,2}}}{\sqrt{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2 + \Delta Y'^2}} \qquad (147)$$

Той се изчислява по няколко двойки опорни точки. За привеждане в мащаба на междинната координатна система се използват формулите:

$$X'' = rX' ; Y'' = rY' ; Z'' = rZ' ; \qquad (148)$$

Предполагайки, че моделът е подобен с този на местността, можем да намерим елементите на абсолютното ориентиране:

$X_{П,О}, Y_{П,О}, Z_{П,О}, \xi, \varsigma, \theta$ относно междинната координатна система. За целта се използват общи опорни точки. После се изчисляват координатите на определяемите точки в междинната координатна система(чрез прилагане на мащабни преобразувания):

$$X_П = X_{П,О} + (a_1 X'' + a_2 Y'' + a_3 Z'')t$$
$$Y_П = Y_{П,О} + (b_1 X'' + b_2 Y'' + b_3 Z'')t \qquad (149)$$
$$Z_П = Z_{П,О} + (c_1 X'' + c_2 Y'' + c_3 Z'')t$$

Използвайки полиноми можем да намерим поправените координати на опорните точки в междинната координатна система:

$$X_П' = X_П + A_0 + A_1 X_П + A_2 Y_П + A_3 X_П Y_П + A_4 X_П^2 + A_5 X_П^3$$
$$Y_П' = Y_П + B_0 + B_1 X_П + B_2 Y_П + B_3 X_П Y_П + B_4 X_П^2 + B_5 X_П^3 \qquad (150)$$
$$Z_П' = Z_П + C_0 + C_1 X_П + C_2 Y_П + C_3 X_П Y_П + C_4 X_П^2 + C_5 X_П^3$$

Коефициентите A_i, B_i, C_i ще определим от уравненията, съставени за опорните точки:

$$V_X = A_0 + A_1 X_П + A_2 Y_П + A_3 X_П Y_П + A_4 X_П^2 + A_5 X_П^3 + X_П' - X_П$$
$$V_Y = B_0 + B_1 X_П + B_2 Y_П + B_3 X_П Y_П + B_4 X_П^2 + B_5 X_П^3 + Y_П' - Y_П \qquad (151)$$
$$V_Z = C_0 + C_1 X_П + C_2 Y_П + C_3 X_П Y_П + C_4 X_П^2 + C_5 X_П^3 + Z_П' - Z_П$$

Всяка опорна точка позволява да се съставят три координатни уравнения с 18 неизвестни. Следователно за определяне на коефициентите A_i, B_i, C_i е необходимо да имаме не по-малко от шест опорни точки. Преминаването към геоцентрични координати се извършва по формулите:

$$X_Г = X_{Г,О} + a_1 X_П' + a_2 Y_П' + a_3 Z_П'$$
$$Y_Г = Y_{Г,О} + b_1 X_П' + b_2 Y_П' + b_3 Z_П' \qquad (152)$$
$$Z_Г = Z_{Г,О} + c_1 X_П' + c_2 Y_П' + c_3 Z_П'$$

Метода за аналитична фототриангулация с частично независими модели намира приложение най-вече в случаите на ивица (маршрут). Необходимо е също така да се извърши корекция за фотограметричните височини заради влиянието на кривината на Земята по формулата:

$$Z' = Z + \frac{D^2}{2R} \qquad (153)$$

D-разстояние до средата на мрежата;

R-радиус на Земята.