

Математична модель вирівнювання блочної фототріангуляції з самокалібруванням знімків при відомих лінійних елементах орієнтування.

Шкурченко Ю.В.

Національний університет
“Львівська політехніка”

Mathematical model of adjustment of block phototriangulation with image self-calibration when linear elements of orientation are known

Abstract

The mathematical model of adjustment of block phototriangulation with image self-calibration when control data is known (geodetic control network and linear elements of orientation) is formulated. Represented models can be used for preparation of algorithms and programs for adjustments of photogrammetric networks and investigation of its accuracy.

Проблема вирівнювання мереж блочної фототріангуляції охоплює широке коло теоретичних питань, пов'язаних з вибором відповідної математичної моделі для дослідження фототріангуляційних побудов.

В теоретичному плані аналіз різномірних фотограмметричних даних і методів вирівнювання блочних мереж доводить [4], що використання методики вирівнювання за одиночними зв'язками є найбільш точною моделлю фототріангуляції. Метод зв'язок базується на використанні відомих залежностей між координатами точок знімка і місцевості:

$$\begin{aligned}x + \Delta x - x_0 &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\y + \Delta y - y_0 &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}\end{aligned} \quad (1)$$

в яких X, Y, Z та X_s, Y_s, Z_s – просторові координати точок об'єкту і лінійні елементи орієнтування знімка;

a_n, b_n, c_n – напрямні косинуси, обчислені за кутовими елементами α та ω ;

f, x_0, y_0 – значення елементів внутрішнього орієнтування знімка;

$\Delta x, \Delta y$ – значення спотворень;

Рівняння (1), після лінеаризації складають систему рівнянь поправок до наближених значень елементів внутрішнього і зовнішнього орієнтування та координат визначасмих точок.

Для врахування спотворень центральної проєкції знімків в рівняння вводять додаткові невідомі, які виражають вплив елементів внутрішнього орієнтування, дісторсії, всіх складових систематичних похибок.

В результаті отримуємо лінійну фотограмметричну модель процесу вирівнювання даних фототріангуляції з врахуванням параметрів калібрування:

$$\begin{aligned} R &= A\delta X + F\delta K + V \\ &\text{або} \\ V &= - (A\delta X + F\delta K) + R \end{aligned} \quad (2)$$

де R – вільний член (вектор-стовбчик результатів вимірів);

V – вектор поправок до вимірюваних величин;

δX – вектор поправок в різні групи вимірів;

δK – вектор параметрів калібрування;

A, F – блоки коефіцієнтів, відповідних часткових похідних.

Математична модель параметричного вирівнювання на основі умови колінеарності (1) дозволяє змінювати загальну фотограмметричну модель (2) в залежності від умов використання опорних даних. Так загальна модель для побудови фототріангуляції методом зв'язок з параметрами калібрування і відомими опорними даними буде містити рівняння поправок для фотограмметричних вимірів та двох типів геодезичних опорних даних (геодезична опорна мережа та відомі лінійні елементи орієнтування) :

$$\begin{aligned} V_{\Phi} &= - B\delta S - C\delta E - D\delta G - F\delta K - G\delta\Gamma_{\text{оп}} + R_{\Phi} \quad , \text{ вага } P_1 \\ V_{\Gamma} &= \quad \quad \quad - E\delta\Gamma_{\text{оп}} + R_{\Gamma} \quad , \text{ вага } P_2 \\ V_S &= - E\delta S \quad \quad \quad + R_S \quad , \text{ вага } P_3 \end{aligned} \quad (3)$$

де $\delta S = [\delta X_S, \delta Y_S, \delta Z_S]^T$,

$\delta E = [\delta \alpha, \delta \omega, \delta \chi]^T$,

$\delta G = [\delta X, \delta Y, \delta Z]^T$,

$\delta K = [\delta x_0, \delta y_0, \delta f, \delta x, \delta y]^T$

– вектори шуканих поправок відповідно до лінійних, кутових ЕЗО, просторових координат точок і в параметри калібрування;

B, C, D, F, G – блоки відповідних часткових похідних;

P_1, P_2, P_3 – матриці ваг відповідно фотограмметричних даних, центрів фотографування, опорних точок.

Отриману систему рівнянь розв'язують за методом найменших квадратів, який передбачає сталість дисперсій результатів вимірів. У випадку різномірної групи вимірів (фотограмметричні, геодезичні опорні дані), для вирівнювання використовують діагональну матрицю погоджених ваг, вводючи відповідні коефіцієнти погодження [1].

У випадку для моделі (3) матриця ваг відома:

$$P = \begin{bmatrix} P_1 & & \\ & P_2 & \\ & & P_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Для помилок з гаусовим розподілом та матрицею ваг (4) виконують вирівнювання за умови, коли:

$$V_{\Phi}^T P_1 V_{\Phi} + V_{\Gamma}^T P_2 V_{\Gamma} + V_S^T P_3 V_S = \min \quad (5)$$

З рівнянь (3) можливо представити декілька варіантів вирівнювання м. фототріангуляції в залежності від опорних даних, для них отримані відповідні

математичні моделі [2]. Зауважимо, що всі розглянуті моделі отримано з умовою, що побудова мережі виконується з калібруванням знімків при відомих координатах центрів фотографування.

Модель 1. Координати опорних точок відомі і безпомилкові.

$$\begin{aligned} V_{\Phi} &= -B\delta S - C\delta\varepsilon - D\delta\Gamma - F\delta K - G\delta\Gamma_{on} + R_{\Phi} \\ V_S &= -E\delta S + R_S \end{aligned} \quad (6)$$

Модель 2. Координати опорних точок і лінійних елементів орієнтування безпомилкові.

$$V_{\Phi} = -C\delta\varepsilon - D\delta\Gamma - F\delta K - G\delta\Gamma_{on} + R_{\Phi} \quad (7)$$

Модель 3. Опорні точки відсутні, координати лінійних елементів орієнтування є величинами безпомилковими – побудова мережі без геодезичної опори.

$$V_{\Phi} = -C\delta\varepsilon - D\delta\Gamma - F\delta K + R_{\Phi} \quad (8)$$

Модель 4. Опорні точки відсутні, вирівнювання мережі без геодезичної опори.

$$\begin{aligned} V_{\Phi} &= -B\delta S - C\delta\varepsilon - D\delta\Gamma - F\delta K + R_{\Phi} \\ V_S &= -E\delta S + R_S \end{aligned} \quad (9)$$

Модель 5. Опорні точки відсутні, вирівнювання мережі при відомих координатах центрів з повним самокалібруванням.

$$\begin{aligned} V_{\Phi} &= -B\delta S - C\delta\varepsilon - D\delta\Gamma - F_1\delta K_1 + R_{\Phi} \\ V_K &= -F_2\delta K_2 + R_K \\ V_S &= -E\delta S + R_S \end{aligned} \quad (10)$$

Окремо зупинимось на моделі (10), в якій побудови виконуються при відомих лінійних елементах орієнтування з самокалібруванням знімків.

Відомо [3], що принцип самокалібрування знімків це процес визначення величин, які характеризують відхилення точок фотозображення від центральної проєкції, існуючої в момент знімання. Доведено, що особливо ефективним застосування самокалібрування знімків буває при побудовах блочних мереж фототріангуляції [3]. До параметрів калібрування знімків відносять поправки δx_0 , δy_0 , δf до елементів внутрішнього орієнтування і поправки δx , δy в координати кожної вимірної точки.

Згідно моделі (10), для кожної точки знімка використано розширену систему рівнянь (рівняння для V_{Φ} і V_K). Спочатку визначають поправки до кутових і відомих лінійних ЕЗО і параметри калібрування (вектор δK_1 – поправки δf , δx_0 , δy_0). На другому етапі (додаткове наближення) визначають решту параметрів калібрування, з використанням поліному (вектор δK_2 – коефіцієнти a_i і b_i). В розширеній системі рівнянь стовбчик вільних членів обчислюється за формулами :

$$\begin{aligned} R_x &= x_{обч} - (x + \delta x); \\ R_y &= y_{обч} - (y + \delta y), \end{aligned} \quad (11)$$

де поправки δx і δy визначаються в процесі самокалібрування за поліномами. Коефіцієнти поліномів a_i , b_i являють собою додаткові параметри калібрування.

Висновки:

1. В загальному, сформульовано математичну модель (3) вирівнювання блочної фототриангуляції з самокалібруванням знімків при відомих опорних даних (геодезична опорна мережа та відомі лінійні елементи орієнтування).

2. Математичні моделі (9,10) можливо застосовувати для вирівнювання мережі фототриангуляції при відомих лінійних елементах орієнтування з самокалібруванням знімків без використання геодезичної опори.

3. Теоретичні моделі можливо використати для розробки алгоритмів і програм вирівнювання фотограмметричних мереж і дослідження точності побудов.

Рецензію на статтю склав проф. д.т.н. Дорожинский О.Л.

Література

1. Дорожинский А.Л. Уравнивание в фотограмметрии с учетом ошибок исходных данных.-Геодезия, картография и аерофотосъемка.1987. №45. с.131-137.

2. Дорожинский А.Л. Теория и технология методов аналитической фотограмметрии в авт. геол. комплексах. Дисс. ... докт. техн. наук. Львов. 1988.

3. Дубиновский В.Б. Калибровка снимков. М., Недра. 1982.

4. Лобанов А.В., Журкин Н.Г. Автоматизация фотограмметрических процессов.- М.,Недра,1980.

Анотація

Сформульовано математичну модель вирівнювання блочної фототриангуляції з самокалібруванням знімків при відомих опорних даних (геодезична опорна мережа та відомі лінійні елементи орієнтування). Представлені моделі можливо використати для розробки алгоритмів і програм вирівнювання фотограмметричних мереж і дослідження точності побудов.