

УДК 528.74:72

д.т.н., професор Катушков В.О.,
Київський національний університет будівництва та архітектури

ПРИКЛАДНА НАЗЕМНА ФОТОГРАММЕТРІЯ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ФОТОГРАФІЧНИХ АРХІВНИХ ЗНІМКІВ.

Метою дослідження є можливість використання програмного забезпечення FOT при вирішенні архівних фотографічних знімків для реставрації архітектурних історичних пам'яток.

Ключові слова: архівні фотознімки, елементи орієнтування, координати опорних точок, програмне забезпечення.

Велика кількість історичних архітектурних пам'яток внаслідок впливу зовнішнього середовища чи діяльності людського фактора знищені повністю, або частково. Для проведення реставраційних робіт або дослідження, фотографічні архівні знімки (ФАЗ) є єдиними джерелами інформації. Складність обробки таких знімків виникає тому, що вони отримані у різні періоди часу, різними камерами або, точніше казати, у різні історичні періоди. Розходження часу знімання може досягати десятків або сотень років.

Зараз при наземному зніманні використовують цифрові знімки, зображення яких складено з матриці пікселів, яке зветься растровим зображенням чи растровим знімком. При цьому, у файл знімка вводиться інформація про час знімання, фокусну відстань, розміри знімка у пікселях чи мм, розмір самого пікселя.

ФАЗ відзняту інформацію зберігають на фотоплівці без характеристик, які тримаються на файлах растрових знімків. Відсутність характеристик на ФАЗ викликає проблему їх оброблення і це є актуальною задачею.

При цьому доцільно використовувати обробку спільного методу знімання, з великими кутами орієнтування, які не дозволяють отримати стереоскопічну модель об'єкта. Вимірювання ФАЗ проводимо не стереоскопічно, а монокулярно, що так само ускладнює технологію робіт.

У всіх випадках обробки використовуємо спільні функції зв'язку просторових координат точок об'єкта X, Y, Z (місцевості) і координат двох трансформованих знімків x_t, z_t .

$$X = B_t \frac{x_t}{P_t}; \quad Y = B_t \frac{f}{P_t}; \quad Z = B_t \frac{z_t}{P_t}.$$

В цих функціях B_t – довжина трансформованого (розвернутого) базису, P_t – позовжній паралакс, як різниця трансформованих координат $x_{л_t, п_t}$ знімку.

$$x_{л_t, п_t} = f_{л} \frac{a_1 x + a_2 f + a_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z}, \quad z_{л_t, п_t} = f_{л} \frac{c_1 x + c_2 f + c_3 z}{b_1 x + b_2 f + b_3 z};$$

$$P_t = x_{л_t} - x_{п_t}; \quad B_t = B \left(\cos \psi - \frac{x_{п_t}}{f} \sin \psi \right); \quad B = \sqrt{(\Delta X_S)^2 - (\Delta Y_S)^2 - (\Delta Z_S)^2}.$$

У формулах a , b , c – напрямні косинуси, які залежать від кутів нахилу знімка α , ω , κ ; $\psi = 90^\circ - (\alpha_{л} - \varphi_{л})$ – кут повороту навколо осі z просторової наземної фотограмметричної системи координат відносно базису знімання. Значення кута ψ визначено формулами:

$$\sin \psi = \frac{\Delta Y_S}{B}; \quad \cos \psi = \frac{\Delta X_S}{B}; \quad \tan \psi = \frac{\Delta Y_S}{\Delta X_S} = \frac{Y_{S_{п}} - Y_{S_{л}}}{X_{S_{п}} - X_{S_{л}}}.$$

За необхідністю фотограмметричні координати перераховуємо у геодезичні таким чином:

$$\left. \begin{aligned} X_{Г} &= X_{Г_S} + Y_{Ф} \cos A_0 + X_{Ф} \sin A_0, \\ Y_{Г} &= Y_{Г_S} + X_{Ф} \cos A_0 + Y_{Ф} \sin A_0. \end{aligned} \right\}$$

де A_0 – дирекційний кут осі Y фотограмметричної системи координат.

Елементи орієнтування визначаємо за нев'язками координат на знімках для опорних точок (опознаків), просторові координати яких визначені раніше. Оскільки для визначення дев'яти невідомих елементів орієнтування окремого знімка потрібно скласти дев'ять умовних рівнянь, то для пари знімків треба визначити 18 елементів орієнтування. Кожен опознак на знімку має дві координати x , z , які для одного знімка визначені колінеарними функціями (1).

$$\left. \begin{aligned} x_i &= f_{л} \frac{a_1(X_i - X_S) + b_1(Y_i - Y_S) + c_1(Z_i - Z_S)}{a_2(X_i - X_S) + b_2(Y_i - Y_S) + c_2(Z_i - Z_S)} \\ z_i &= f_{л} \frac{a_3(X_i - X_S) + b_3(Y_i - Y_S) + c_3(Z_i - Z_S)}{a_2(X_i - X_S) + b_2(Y_i - Y_S) + c_2(Z_i - Z_S)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

У цих формулах X_i , Y_i , Z_i – просторові фотограмметричні координати опознаків і центрів проєкцій X_S , Y_S , Z_S . За цими формулами обчислюємо трансформовані значення координат лівого і правого знімків.

Просторові фотограмметричні координати опознаків обчислюємо за формулами

$$\begin{aligned} X &= (Y_{\Gamma} - Y_{\Gamma_S}) \cos A_0 + (X_{\Gamma} - X_{\Gamma_S}) \sin A_0; \\ Y &= (Y_{\Gamma} - Y_{\Gamma_S}) \sin A_0 + (X_{\Gamma} - X_{\Gamma_S}) \cos A_0; \\ Z &= Z_{\Gamma} - Z_{\Gamma_S}. \end{aligned} \quad (2)$$

де A_0 – дирекційний кут осі Y фотограмметричної системи координат.

Щоб обчислити x, z треба знати по дев'ять елементів орієнтування $\alpha, \omega, \kappa, X_S, Y_S, Z_S, f, x_0, z_0$ для обох знімків. Три перших елемента α, ω, κ – кутові нахили знімка в градусах, які для рішення переводяться у радіани, X_S, Y_S, Z_S – просторові координати центра проекції задаються у метрах. Останні три f, x_0, z_0 – елементи внутрішнього орієнтування задаються у мм чи $\mu\text{м}$. Тут x_0, z_0 – координати головної точки знімка, які на архівних фотознімках відсутні. Проблема вирішується нанесенням на архівний знімок вільних координатних осей, відносно яких далі визначимо вірні координати головної точки. При обробленні архівного знімка на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС) фотографічне зображення попередньо треба сканувати. На отримане растрове зображення у середині ФАЗ наносимо векторний хрест з продовженими рисками по краях знімка, який і буде позначати попередньо систему центральної проекції. При роботі так само можна залишити тільки протилежні риси на серединах сторін кадру зображення, а центральний хрест не показувати.

Розглянемо рішення окремого ФАЗ. Для визначення дев'яти елементів орієнтування треба скласти не менше дев'яти лінійних рівнянь. Оскільки кожний опознак дозволяє скласти два рівняння, складаємо разом не дев'ять, а десять рівнянь, які вирішуються методом найменших квадратів. При цьому лінійні рівняння поправок одного опознака до двох координат x та z колінеарного зв'язку (1) будуть мати такий вигляд:

$$A\delta X_S + B\delta Y_S + C\delta Z_S + D\delta\alpha + E\delta\omega + F\delta\kappa + J\delta f + \delta x_0 + (x - x') = \delta x; \quad (3)$$

$$A'\delta X_S + B'\delta Y_S + C'\delta Z_S + D'\delta\alpha + E'\delta\omega + F'\delta\kappa + J'\delta f + \delta z_0 + (z - z') = \delta z.$$

де коефіцієнти $A... J, A'... J'$ – частинні похідні функцій (1); $\delta X_S, \delta Y_S, \delta Z_S, \delta\alpha, \delta\omega, \delta\kappa, \delta f, \delta x^0, \delta z^0$ – поправки у наближенні значення $X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \kappa^0, \delta f, \delta x_0, \delta z_0$; x', z' – вимірні значення координат на знімку.

Частинні похідні для координати x знімка приведемо до вигляду:

$$N = a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S);$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\partial x}{\partial X_s} = \frac{1}{N}(-a_1 f + a_2 x); & B &= \frac{\partial x}{\partial Y_s} = \frac{1}{N}(-b_2 f + b_2 x); \\
 C &= \frac{\partial x}{\partial Z_s} = \frac{1}{N}(-c_2 f + c_2 x); \\
 D &= \frac{\partial x}{\partial \alpha} = \frac{f}{N}[b_1(X - X_s) - a_1(Y - Y_s)] - \frac{x}{N}[b_2(X - X_s) - a_2(Y - Y_s)]; \\
 E &= \frac{\partial x}{\partial \omega} = -f \sin \kappa + x(\tan \omega - \frac{Z - Z_s}{N \cos \omega}); \\
 F &= \frac{\partial x}{\partial \kappa} = z; & J &= \frac{\partial x}{\partial f} = \frac{x}{f}.
 \end{aligned}$$

Аналогічно визначимо частинні похідні для координати z знімка:

$$\begin{aligned}
 A' &= \frac{\partial z}{\partial X_s} = \frac{1}{N}(-a_3 f + a_2 z); & B' &= \frac{\partial z}{\partial Y_s} = \frac{1}{N}(-b_3 f + b_2 z); \\
 C' &= \frac{\partial z}{\partial Z_s} = \frac{1}{N}(-c_3 f + c_2 z); \\
 D' &= \frac{\partial z}{\partial \alpha} = \frac{f}{N}[b_3(X - X_s) - a_3(Y - Y_s)] - \frac{z}{N}[b_2(X - X_s) - a_2(Y - Y_s)]; \\
 E' &= \frac{\partial z}{\partial \omega} = -f \cos \kappa + z(\tan \omega - \frac{Z - Z_s}{N \cos \omega}); \\
 F' &= \frac{\partial z}{\partial \kappa} = -x; & J' &= \frac{\partial z}{\partial f} = \frac{z}{f}.
 \end{aligned}$$

Коефіцієнти невідомих $\partial x_0, \partial z_0$ дорівнюватимуть одиниці або нулю. Беручи для невідомих елементів орієнтування у нульовому наближенні значення $X_s^0, Y_s^0, Z_s^0, \alpha^0, \omega^0, \kappa^0, f^0, x_0^0, z_0^0$ за наведеними вище залежностями обчислюємо коефіцієнти $A \dots J, A' \dots J'$.

Із розв'язування матриці нормальних рівнянь методом Гауса складеної з лінійних рівнянь поправок (3) знаходимо поправки до наближених значень елементів орієнтування. Розв'язування виконуємо методом ітерацій, де кожна наступна ітерація відрізняється від попередньої введенням визначених поправок.

По виправленим елементам орієнтування знаходимо нові значення елементів орієнтування у другій ітерації за аналітично каліброваними координатами знімку:

$$\begin{aligned}
 x'' &= x' - x_0, \\
 z'' &= z' - z_0.
 \end{aligned}$$

де x_0, z_0 - аналітично калібровані координати головної точки ФАЗ. Значення координат головної точки, як і значення інших елементів орієнтування, невідомі, але в нульовій ітерації задається маркуванням, про що говорилося раніше.

Кількість ітерацій залежить від схожості наближених (початкових) елементів орієнтування до дійсних та від заданої точності обчислень остаточних значень. Точність обчислень визначаємо за заданими значеннями у розбіжностях між двома наступними ітераціями, що у свою чергу буде залежним від заданої точності робіт, параметрів знімка, точності сканування та вимірювання, дешифрування та координат опорних точок. Доцільно встановити точність обчислень відповідно до точності вимірювань ФАЗ, тому можна взяти такі допустимі зміни елементів орієнтування між ітераціями:

$$\begin{aligned} \Delta(\delta X_s, \delta Y_s, \delta Z_s) &\leq \varepsilon \frac{Y_{min}}{f}; \\ \Delta(\delta \alpha, \delta \omega, \delta \kappa) &\leq \frac{\varepsilon}{f} \rho; \\ \Delta(\delta x_0, \delta z_0) &\leq \varepsilon; \\ \Delta(\delta f) &\leq \frac{f}{x_{max}} \varepsilon. \end{aligned} \quad (4)$$

де ε - точність обчислення у ітераційному процесі, Δ - різниці між сусідніми значеннями елементів орієнтування.

Аналогічно визначаємо елементи орієнтування правого ФАЗ. При обробленні пари ФАЗ отриманих у різні часи різними камерами виникає проблема різних фокусних відстаней, яка вирішується за допомогою коефіцієнта $K = F_n/F_p$. Обчислення двох ФАЗ виконується за версією FOT2.

За наданою технологією складено програмне забезпечення версії FOT1, яке дозволяє обробляти окремі ФАЗ. Далі первинна версія доповнена рішенням з урахуванням конструкцій будівельних споруд, коли просторові точки розташовані на прямовисних, горизонтальних напрямках, або розташовані у окремій площині – версія FOT3 [1].

Для дослідження версії FOT1 проведена обробка модельного ФАЗ з симетричним розташуванням точок просторового об'єкта відносно центра проекції. Просторові і модельні координати опознаків надані у табл. 1. Розташування об'єкта та модельного знімка з центром проекції S_1 показано на рис. 1.

Табл. 1

Координати опознаків

NN	Просторові координати, м			Модельні координати знімка, мм	
	X	Y	Z	x	z
1	75	70	-1	-41.667	-4.167
4	125	70	-1	41.667	-4.167
11	75	70	20	-41.667	30.833
14	125	70	20	41.667	30.833
40	85	80	30	-21.429	40.714
60	115	80	40	21.429	55.000

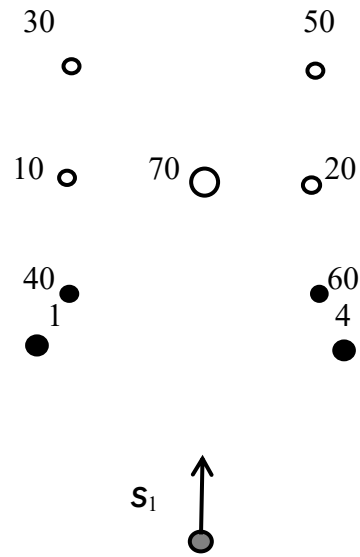


Рис.1. Розташування точок об'єкта та центра проєкції

При дослідженні елементам орієнтування табл. 2 задавалися різні значення. В першому рядку табл. 2 надані правдиві значення елементів орієнтування. Відхилення фокусних відстаней δf задалося у діапазоні ± 100 мм. Діапазон координат головної точки $\delta x_0, \delta z_0$ на модельному знімку змінювався від -50 до $+50$ мм. Координати центра проєкції у всіх варіантах задавалися нульовими, т. т. $\delta X_S = 100$ м, $\delta Y_S = 10$ м, $\delta Z_S = 1.5$ м.

Табл. 2

Елементи орієнтування при дослідженні.

NN	α°	ω°	κ°	$X_S, м$	$Y_S, м$	$Z_S, м$	$f, мм$	$x_0, мм$	$z_0, мм$	Q
1	0	0	0	100	10	1,5	100	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	50	± 50	± 50	5
3	30	30	30	0	0	0	100	30	30	5
4	40	40	40	0	0	0	100	-30	-30	11
5	0	0	0	0	0	0	200	50	50	16

У всіх наведених варіантах обчислювалися вірні значення елементів орієнтування. Буква Q відповідає кількості ітерацій, при яких знайдено вірне рішення. При цьому поправки до попередньої ітерації дорівнюють нулю або мають настільки малі значення, що ними можна зневажити.

Такі великі розбіжності наближених даних від дійсних говорить, що в будь-якому випадку можна знайти вірне рішення матриці елементів орієнтування. Але зменшення амплітуди коливань ітераційних поправок до заданих умов (4) не завжди приводить до вірного результату. Наскільки можна помилятися? В цьому напрямку ведуться дослідження.

Література

1. Катушков В.О., Дульский І.О. Богатоваріантність визначень просторових координат точок за одиночним архітектурним знімком. Інженерна геодезія, вип. 37, 1994, с. 60 – 64.

Аннотація

Целью исследования является возможность использования программного обеспечения FOT при решении архивных фотографических снимков для реставрации архитектурных исторических памятников.

Ключевые слова: архивный фотоснимок, элементы ориентирования, координаты опорных точек, программное обеспечение.

Annotation

The aim of this study is the use of software in solving FOT archival photographic images for the restoration of architectural monuments.

Keywords: archival photographs, orientation elements, coordinates of control points, software.