

АНАЛІЗ ФОТОГРАМЕТРІЇ ЯК МЕТОДУ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

Багаєва М.А.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Колендовська М.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
м. Харків, Україна

тел. +38(099) 162-81-43, e-mail: milena.bahaieva@nure.ua.

Photogrammetry remains in today's world, offering precision, flexibility, and efficiency in creating 3D models from 2D images. It's especially vital for cultural heritage preservation, endangered by time, disasters, or human activities. Additionally, drones and software advancements make photogrammetry more accessible and effective, transforming images into 3D models for various applications. This process, based on principles of digital imaging and photogrammetry, involves subtracting space to isolate objects for detailed processing or analysis.

Фотограмметрія залишається надзвичайно актуальною технологією у сучасному світі, оскільки вона пропонує високу точність, гнучкість та ефективність у створенні тривимірних моделей з двовимірних зображень. Особливо важливою фотограмметрія стає у контексті збереження культурної спадщини, що зазнає шкоди від часу, катастроф чи людської діяльності. Крім того, розвиток безпілотних літальних апаратів (дронів) та вдосконалення програмного забезпечення роблять фотограмметрію ще більш доступною та ефективною.

Процес фотограмметрії полягає у перетворенні зображень або даних LiDAR на 3D-модель, яку в подальшому можна використовувати в багатьох галузях [1]. Цифрова фотограмметрія заснована на ключових принципах цифрового зображення і фотограмметрії, комп'ютерної техніки, цифрової обробки зображень, комп'ютерного зору, розпізнавання образів та предметів. Основна сфера застосування цього методу – детальні й точні тривимірні об'єкти.

Віднімання простору – це процес фотограмметрії, який використовує деякий відомий простір об'єкта (контрольну точку), пов'язану з нею точку на зображенні та рівняння колінеарності для обчислення елементів внутрішньої, зовнішньої орієнтації та інших додаткових параметрів.

Це процес, який використовується для видалення фону або небажаних об'єктів зі сцени, зосереджуючись лише на цільовому об'єкті. Віднімання простору дозволяє ізолювати об'єкт для подальшої детальної обробки або аналізу, усуваючи зайві елементи, які можуть заважати процесу створення 3D-моделі.

Зазвичай потрібно більше шести контрольних точок, щоб виконати

обчислення коригування за методом найменших квадратів у фотограмметричній просторовій резекції [2].

Математичне представлення, яке вказує на те, що простір $A(X, Y, Z)$ і відповідні йому точки зображення $a(x, y)$ лежать на одній прямій, що проходить через центр проєкцій $S(X_S, Y_S, Z_S)$ має наступний вигляд:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} \quad (1)$$

З виразу (1) отримаємо фундаментальне, для аналітичної фотограмметрії, рівняння умови колінеальності:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_1 \cdot (X - X_S) + b_1 \cdot (Y - Y_S) + c_1 \cdot (Z - Z_S)}{a_3 \cdot (X - X_S) + b_3 \cdot (Y - Y_S) + c_3 \cdot (Z - Z_S)} \\ y - y_0 &= -f \frac{a_2 \cdot (X - X_S) + b_2 \cdot (Y - Y_S) + c_2 \cdot (Z - Z_S)}{a_3 \cdot (X - X_S) + b_3 \cdot (Y - Y_S) + c_3 \cdot (Z - Z_S)} \end{aligned} \quad (2)$$

де (x, y) – координата точки зображення, (x_0, y_0) – координата основної точки зображення; f – основна відстань; x_0, y_0, f – елементи внутрішньої орієнтації зображення; (X, Y, Z) – точка тривимірного об'єктного простору; (X_S, Y_S, Z_S) – об'єктно-просторова координата центру проєкції S ; $(a_i, b_i, c_i, i=3)$ – функції 9 напрямлених косинусів, що складаються з 3 кутових елементів зовнішньої орієнтації.

Встановлення відносного положення та орієнтації між двома або декількома зображеннями однієї й тієї ж сцени називається відносною орієнтацією. Це необхідно для визначення взаємного розташування камер у момент зйомки, що дозволяє точно відтворити тривимірну структуру сцени через створення стереопари. Цей процес є фундаментальним для подальшої реконструкції 3D-простору [3].

$$F = \begin{bmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

де

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = R_{left} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} = R_{right} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{bmatrix} \quad (4)$$

R_{left} та R_{right} – відповідно, матриці лівого та правого зображення; $(x_1,$

$y_1), (x_2, y_2)$ – координати точок перетину.

Розглянемо випадок, коли орієнтування при визначенні масштабу побудоване на відносних величинах. Припустимо, що λ – масштабний коефіцієнт; a_i, b_i, c_i – косинуси напрямів кутів між відповідними системами координат моделі; (U, V, W) – координати моделі; (X, Y, Z) – фотограмметричні координати точок моделі.

Тривимірне лінійне перетворення в матричній формі:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

Отже, віднімання простору, відносна орієнтація, та абсолютна орієнтація – це ключові поняття в галузі фотограмметрії, які використовуються для обробки зображень та створення точних тривимірних моделей об'єктів. Комбінація цих процесів дозволяє ефективно перетворити серію знімків на точні тривимірні цифрові моделі реальних об'єктів, які можуть бути використані в широкому спектрі застосувань.

Ця технологія знайшла своє застосування в різноманітних галузях, від геодезії до збереження культурної спадщини, забезпечуючи не лише високу точність і гнучкість, але й значну ефективність.

Розвиток програмного забезпечення та поширення дронів відкривають нові можливості для фотограмметрії, роблячи її ще більш доступною для широкого кола користувачів.

Список використаних джерел:

1. Qin R., Gruen A. The role of machine intelligence in photogrammetric 3D modeling – an overview and perspectives. *International Journal of Digital Earth*. 2020. P. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1805037> (date of access: 26.02.2024).
2. Zhang, Chunsen, and Wanqiang Yao. "The comparisons of 3D analysis between photogrammetry and computer vision." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (2008): 33-36.
3. Hartley, Richard I., and Joseph L. Mundy. "Relationship between photogrammetry and computer vision." *Integrating photogrammetric techniques with scene analysis and machine vision 1944* (1993): 92-105.
4. Багаєва М. А. Фотограмметрія / М. А. Багаєва // *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : тези доповідей 27-го Міжнародного молодіжного форуму, 10–12 травня 2023 р. – Харків : ХНУ-РЕ, 2023. – Т. 3. – С. 53–54.*