

УДК

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДДАЛІ ЦИФРОВИХ НЕМЕТРИЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ КАМЕР

В. Глотов, О. Пашетник

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** фокусна віддаль, цифрові неметричні знімальні камери.

### Постановка проблеми

Сучасні методи стереофотограмметрії вимагають визначення елементів внутрішнього орієнтування із максимальною точністю, оскільки вони безпосередньо впливають на точність визначення координат точок об'єктів, що досліджуються. Тому постає завдання розробити способи визначення цих елементів на сучасному високоточному рівні. Окрім цього, виникає проблема технології, оскільки ці елементи неможливо визначити безпосередньо та ще й задіяти прикладну рамку камери так само неприпустимо.

### Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями

Запропонований спосіб може бути використаний для визначення фокусної віддалі та подальшого застосування способу у фотограмметрії у різних галузях науки і техніки (в архітектурних обмірах, військовій справі, дослідження деформацій інженерних споруд, медицині тощо), що дасть змогу значно підвищити точність визначення координат досліджуваних об'єктів та спростити технологію знімання.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми

Питання калібрування і визначення елементів внутрішнього орієнтування неметричних та високоточних знімальних систем висвітлено у низці праць. Розглянемо деякі з них. У публікації [3] досліджено спосіб визначення елементів внутрішнього орієнтування, який полягає у тому, що на земній поверхні виконують знімання з однієї точки цифровим фототеодолітом та опрацьовують знімки. Однак, за словами авторів, цей спосіб можна використати тільки як наближений, оскільки алгоритм, що застосовується для шуканих величин, наближений. Крім того, орієнтування оптичної осі знімальної камери та теодоліта – доволі складне завдання. По-перше, оскільки камера не має в окулярі оптичної системи точно від'юстованих

міток, які були б спряжені із головною оптичною віссю, неможливо точно виставити оптичні осі паралельно, а лише наближено. По-друге, у цьому способі не враховується вплив похибок кутових елементів зовнішнього орієнтування завдяки наявності орієнтирного пристрою.

У роботі [1] запропоновано спосіб, оснований на зніманні з близької відстані тест-об'єкта та виміряних за знімком у ручному режимі піксельних координат точок. Подальша обробка вимірювань базувалась на рівняннях колінеарності. З розв'язання системи рівнянь, складених для точок з відомими геодезичними координатами, автори визначили елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімка. Система розраховувалась ітеративно за методом найменших квадратів. Після останньої ітерації визначали значення елементів внутрішнього орієнтування та дисторсію. Отже, задача калібрування виконувалась на основі порівняння реального знімка з макетним, тобто “ідеальним”. У цій роботі авторами запропоновано сумісне отримання елементів зовнішнього та внутрішнього орієнтування, а це, своєю чергою, призведе до спотворення величин за рахунок кореляційних зв'язків.

Камеральний спосіб визначення елементів внутрішнього орієнтування описаний в праці [4]. Згідно з ним застосовують спеціальну установку із системою коліматорів. Але за цим способом можна визначити елементи внутрішнього орієнтування лише за наявності трьох коліматорів, які встановлюються на спеціальну лаву разом із знімальною камерою. Окрім цього, для цифрової камери практично неможливо точно визначити положення фокальної площини, оскільки поверхня ПЗЗ-матриці розміщена в корпусі камер і до неї немає доступу.

У роботі [2] для визначення елементів внутрішнього орієнтування застосовували гоніометр. У результаті спостережень точність визначення фокусної віддалі  $f$  (при  $f \approx 200$  мм) на гоніометрі становила приблизно 0,02 мм, а положення головної точки – близько 0,03–0,04 мм. Незважаючи на таку точність, цей спосіб досить тривалий і вимагає значної витрати часу для дослідження об'єктів.

У працях [6, 7, 8] наводяться способи калібрування камер з метою застосування їх у інженерній фотограмметрії. У роботах наведені результати параметрів калібрування, а саме: фокусна віддаль та планові координати елементів внутрішнього орієнтування та визначення їх точності.

У публікації [5] авторами було відкалібровано відеопроєктор DLP, що є однією з головних компонент структурованого світла як одного з найточніших та автоматичних методів 3D вимірювання поверхонь об'єктів дослідження (наприклад, застосовується в архітектурі – для 3D візуалізації та документування культурної спадщини; промисловості – перевірка якості розробки тощо) та цифрову знімальну камеру Canon моделі Powershot G3 з фокусною віддаллю 35 мм, що використовувалась у вимірювальній системі. В результаті калібрування отримано значення елементів внутрішнього орієнтування та параметри калібрування камери.

У роботі [9] описана технологія калібрування цифрової камери класичним методом. Визначення дисторсії та елементів внутрішнього орієнтування камери автори виконували за умовою колінеарності методом найменших квадратів. Недоліком способу є те, що його реалізація вимагає досить громіздкого обладнання.

### Невирішені частини загальної проблеми

Однією із частин проблеми, що необхідно вирішити, є визначення фокусної віддалі неметричних цифрових знімальних камер.

### Постановка завдання

Завдання полягає у тому, щоб розробити спосіб визначення фокусних віддалей знімальних цифрових камер. Особливістю цього способу повинні бути технологічність та уніфікованість стосовно приладів, які використовуватимуться.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо сутність запропонованого способу.

Пучок паралельних променів, що йдуть від віддаленого предмета 1 (для об'єктива камери, що розміщений у нескінченності), відбивається від площини дзеркала 2, закріпленого на електронному тахеометрі і проходить через об'єктив камери 3. Зображення будується на площині ПЗЗ – матриці 4, що розміщена у фокальній площині камери, і фокусується за допомогою міток на фокаторі знімальної камери 5 (рис. 1).

Зміщуємо зображення предмета обертанням горизонтального кола електронного тахеометра на відповідний кут  $\beta$  (рис. 2).

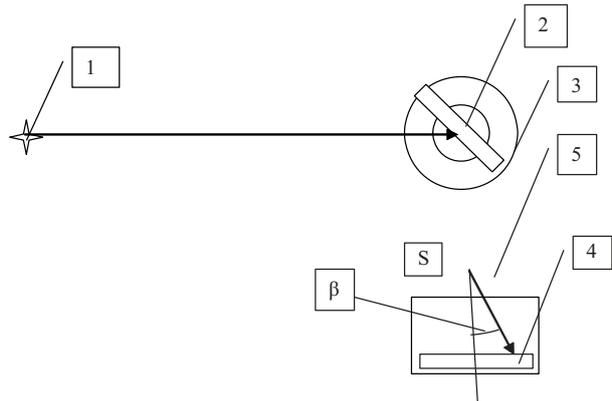


Рис. 1. Принципова схема способу

За умови продовження променя, що виходить із лінзи, він потрапляє в передню вузлову точку об'єктива  $S$ , оскільки вхідний промінь іде із нескінченності, (від віддаленого предмета), а за допомогою дзеркала відбувається лише його заломлення. Отже, кути  $\beta$  і  $\beta/2$  будуть рівні між собою за будь-якого відхилення променя в точці  $S$ . Із цього положення випливає, що при суміщенні зображення вздовж вибраного положення вимірюють кут електронним тахеометром, вершина якого розташована у вузловій точці об'єктива.

Технологічна реалізація способу зображена на рис. 2.



Рис. 2. Загальний вигляд розташування приладів

Для оптимального розміщення приладів комплексу виконують такі технологічні процеси: а) площину дзеркала суміщають з променем, що йде від об'єкта дослідження і падає на фокальну площину, де розміщена ПЗЗ-матриця; б) камеру встановлюють так, щоб, по-перше: вона була в горизонтальному положенні, а

вибраний предмет розміщувався на перетині вибраних напрямків міток фокатора, і, по-друге: оптична вісь її була приблизно перпендикулярна до площини дзеркала. Виконання вищевказаних умов дає змогу максимально використовувати всю площину дзеркала при його обертанні, тобто реалізується можливість суміщати зображення, що розміщені поблизу країв кадру. Крім того, унеможлиблюється непотрапляння (уводу) зображення предмета відносно вибраного напрямку фокальних міток.

Орієнтування комплексу відбувається так. Обертанням горизонтального кола електронного тахеометра і вивідними гвинтами підставки дзеркала суміщають точно зображення предмета з центральною міткою фокатора і потім добиваються положення, за якого зображення точно проходило б по всьому вибраному напрямку, тобто суміщалося із всіма горизонтальними мітками фокатора. Мікрометричним гвинтом горизонтального кола електронного тахеометра розвертають дзеркало на розрахований кут, після чого беруть відлік горизонтального кута.

Передають цифрові зображення у вікно "взаємне орієнтування" ЦФС "Дельта-2" і вимірюють координати  $x$  відображення предмета, за якими можливо визначити елементи внутрішнього орієнтування. Безпосередньо фокусну віддаль визначають, враховуючи умову [4]

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \min, \quad (1)$$

де  $\Delta_i$  – значення дисторсії у  $i$  точці. Відповідно, віддаль камери можна вибрати так, щоб сума значень дисторсії була мінімальна.

Ця умова, основана на теорії найменших квадратів, є найстрогішою. Враховуючи цю умову і склавши почленно обидві частини рівностей

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= x_1 - f_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1, \\ \Delta_2 &= x_1 - f_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, \\ \Delta_i &= x_i - f_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $x_i$  – відповідна віддаль на ПЗЗ-матриці;  $f_{cp}$  – середня арифметична фокусна віддаль; що виражають дисторсію по зонах поля зору, знайдемо:

$$f_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_i} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_i}. \quad (3)$$

Звідси видно, що під час розрахунку фокусної віддалі значення  $\operatorname{tg} \varphi_i$  є вагою.

З урахуванням всіх вимірів, виконаних по осях  $xx$  і  $zz$ , а також за наявності діагональних напрямків на ПЗЗ-матриці  $uu$  і  $vv$ , формула (3) набуде вигляду

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n z_i + \sum_{i=1}^n u_i + \sum_{i=1}^n v_i}{\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_{ix} + \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_{iz} + \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_{iu} + \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \varphi_{iv}}. \quad (4)$$

Під час апробації способу визначалась фокусна віддаль цифрової знімальної камери Canon EOS-450D № 2280509273. Середнє значення фокусної віддалі для фіксованої позначки 55 мм становило – 54,14 мм. Це значення порівнювалось із значенням, яке наводиться в даних зображення камери: відповідно воно становить – 55 мм. Як бачимо, різниця дуже істотна, тому надалі необхідно виконати дослідження із метою визначення оцінки точності способу.

### Висновки

1. У результаті аналізу способів визначення фокусної віддалі цифрових неметричних знімальних камер були з'ясовані проблеми, що виникають під час розв'язання цієї задачі.

2. Запропонований спосіб за конструкторським та технологічним вирішенням дає змогу визначити фокусну віддаль знімальних камер без застосування номенклатурного обладнання (гоніометри, оптична лава тощо).

3. Точність визначення фокусної віддалі запропонованим способом відповідає точності вимірів цифрових зображень неметричних камер.

4. Надалі планується дослідити технологію способу та на цій основі підвищити його точність.

### Література

1. Гельман Р.Н., Дунц А.Л. Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23–31.
2. Дробышев Р. Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии. – М.: Недра, 1973 – 288 с.
3. Лобанов А. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. – М.: Недра, 1983. – 224 с.
4. Лобанов А.Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. – М.: Недра, 1983. – 224 с.
5. Лаврова Н.П., Алмазов И.В., Приленский А.Н. Аэрофотосъемка, автоматизация аэрофотосъемочных процессов. – М.: Недра, 1985. – 256 с.

6. Юрченко В.И. Исследование моделей учета систематических искажений неметрических снимков с самокалибровкой // Геодезия и картография. – М., 2002. – № 8. – С. 32–37.

7. Юрченко В.И. Об учете систематических искажений неметрических снимков // Геодезия и картография. – М., 2002. – № 7. – С. 31–38.

8. Tokarczyk R. Close range photogrammetry system for medicine and railways / R. Tokarczyk, Mikrut S. // Geoinformation for all: XIXth Congress of the international society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS): the international congress, 16–23 July, 2000 y. – Amsterdam, the Netherlands, 2000. – P. 519 – 524.

9. Kropfl M., Kruch E., Guber M. Geometric calibration of the digital larcde format aerial camera UltraCamD // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul. – 2004. – P. 42–44.

**Спосіб визначення фокусної віддалі цифрових неметричних знімальних камер**

В. Глотов, О. Пащетник

Описано спосіб визначення фокусної віддалі неметричних цифрових камер. Особливістю способу є уніфікаційність; застосування комп-

лексу геодезичних приладів та пристроїв, що дає змогу розв'язати поставлену задачу без використання номенклатурного обладнання.

**Способ определения фокусного расстояния цифровых неметрических съёмочных камер**

В. Глотов, О. Пащетник

Представлен способ определения фокусного расстояния неметрических цифровых камер. Особенностью способа является унификация – применение широко распространенных геодезических приборов и устройств, что позволяет решить поставленную задачу без использования номенклатурного оборудования.

**The method of determining of the focal length of digital unmetrical survey camera**

V. Glotov, O. Pashchetnyk

In proposed paper presents of determination of the digital unmetrical survey camera focal distances. The special feature is the way of unification – are used of common surveying geodetic instruments and devices that allows to solve the task without the use of equipment nomenclature.

**5–7 October**  
**Cologne, Germany**  
**INTERGEO**  
[www.intergeo.de](http://www.intergeo.de)

**8–10 November**  
**Las Vegas, USA**  
**Trimble Dimensions 2010-Converge.**  
**Connect. Collaborate**  
[www.trimbledimensions.com](http://www.trimbledimensions.com)

**29 November – 3 December**  
**Tunisia**  
**International Congress Geotunis 2010:**  
**The use of GIS and remote sensing for sustainable development.**  
[www.geotunis.org](http://www.geotunis.org)