

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДДАЛІ ВАРІООБ'ЄКТИВА ЦИФРОВОЇ НЕМЕТРИЧНОЇ КАМЕРИ

В. Глотов

Національний університет "Львівська політехніка"

О. Пащетник

Львівська академія Сухопутних військ

Ключові слова: цифрові неметричні камери, варіооб'єктив, еквівалентна фокусна віддаль.

Постановка проблеми

У разі застосування неметричних цифрових камер з варіооб'єктивами в короткобазисній фотограмметрії виникає проблема визначення еквівалентної фокусної віддалі об'єктива, яка значно відрізняється від встановленої фокусної віддалі цієї камери. Однак визначити еквівалентну фокусну віддаль безпосередніми промірами з відповідною точністю практично неможливо, тому необхідно розробити спосіб, який дасть змогу знайти вищевказані фокусні віддалі.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями

Запропонований спосіб можна використати для визначення еквівалентної фокусної віддалі об'єктива цифрової камери та подальшого застосування її у короткобазисній фотограмметрії у різних галузях науки і техніки, що дасть змогу істотно підвищити точність визначення координат досліджуваних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Методи визначення фокусної віддалі та калібрування камер висвітлено у низці праць. Розглянемо деякі з них.

У статті [7] описана методика та система калібрування для цифрової камери SR-3000 (SwissRange). З метою визначення точних віддалей до об'єкта дослідження наведено попіксельно математичні розрахунки фактичних (дійсних) віддалей, які потім порівнювались з лінійними значеннями. З метою високоточного 3D-вимірювання координат точок об'єкта дослідження система вимірювання містила дві CDD-відеокамери (марки GS1600), що кріпилися на алюмінієвій стійці на базовій відстані 0,70 м одна від одної. Посередині монтувалась камера SR-3000 з насадженими 9 мм лінзами Fujinon (HF9HA-1B) та електронний пристрій, що використовувався для контролю давачів. На відповідній віддалі від камери (при значеннях 60 см та 1,5 м) автори розміщували плоский об'єкт, що кріпився на стіні, – алюмінієву пластину з позначеними на ній на рівній відстані (10 см) одна від одної 88 точками. Для калібрування камери SR-3000 автори використовували ту саму пластину, але з нанесеними на неї допоміжними 70 точками. Необхід-

ність в них виникла тому, що через низьку роздільну здатність камери маленькі круглі мітки на пластині погано проглядалися на знімках. В результаті досліджень точність отриманих координат не перевищувала 0,5 мм, що задовольняло авторів. Фокусна віддаль становила: для CDD1 = 2098,2; CDD2 = 2101,2; SR-3000 = 201,9 пікселів. Мінімальна та максимальна різниця відстаней становила – 6,91 см і 2,3 см, середньоквадратична похибка – 0,8 см, тобто погіршення точності за напрямками та відхилення віддалей з отриманих зображень очевидні.

У статті [6] описано методику калібрування цифрових камер, що використовувалися для короткобазисного 3D-вимірювання в системі IBIM (Image Based Integrated Measurement (комплексне вимірювання)). Автори розробили систему IBIM, у механізм якої входили кутомірний пристрій, непрофесійна цифрова камера, лазерний віддалемір (Leica DISTO Lite 4, точність ± 3 mm) та напівпрозоре дзеркало. Для стереоскопічного знімання (за різних значень віддалі) та оцінки системи автори застосовували два комплекти системи IBIM в шести комбінаціях, використовуючи попарно вісім цифрових камер: SONY Cyber-shot DSC-N1 з Nikon COOLPIX S600; Nikon COOLPIX S600 з PENTAX Optio W60; PENTAX Optio W60 з Panasonic DMC-FX100; Panasonic DMC-FX100 з Nikon COOLPIX S710; Nikon COOLPIX S710 з Canon EOS 20D; Canon EOS 20D з EOS Kiss X3. Об'єктом дослідження була конструкція, на яку з точністю $\pm 0,05$ мм нанесли 165 марок чорного кольору та 14 червоних, які використовувались як контрольні для калібрування камери. В результаті апробації методу дослідження автори отримали очікувану точність з допустимою похибкою вимірювання 0,5 мм.

Обґрунтування та визначення параметрів калібрування камери, що залежать головно від кута поля зображення камери і її розташування відносно тестового полігона, розглянуто у роботі [4]. Пошук оптимальних параметрів здійснено методом моделювання знімання тестового полігона. Моделювання виконано для цифрових камер, що належать до класу вузькокутових (п'ятимегапиксельна цифрова камера Olympus E20p з кутом поля зору від 14° до 50°). При постійному куті конвергенції стереопар було змодельовано фотографування полігона на різних відстанях. Площа заповнення залишалася постійною, що досягалося збільшенням відстані між опорними точками полігона.

В результаті розрахунків точність визначення елементів внутрішнього орієнтування для моделей знімання, виконаних з різних відстаней, залишилася постійною. Це свідчить про те, що за незмінних значень площі заповнення знімка і кута конвергенції зміна висоти фотографування не впливала на точність розв'язання задачі калібрування. Значення цього параметра досліджено при різних кутах поля зору (КПЗ) камери. Для вузькокутової камери (КПЗ = 14°) проведено експеримент при оптимальному куті конвергенції, максимальній площі покриття і різних кількостях точок тестового полігона (48 і 192 шт.). В результаті збільшення кількості точок у чотири рази точність рішення підвищилась у два рази, але це, своєю чергою, збільшило час вимірювань і розрахунку величин.

Дослідження можливості використання звичайних цифрових камер для наземного стереознімання наведено в праці [2]. Для цього виконано калібрування камери Kodak DC210+ методом порівняння отриманого нею знімка зі знімком – еталоном того самого об'єкта. Обидва знімання виконано з однієї точки стояння при просторовому поєднанні центрів проєкцій знімків. Для вибраної камери одержане значення фокусної віддалі становило 1788 пікселів. Після повторного калібрування різниця значень елементів внутрішнього орієнтування не перевищувала 1 піксела.

Автоматичний метод калібрування камери фотограмметричної системи вимірювання описаний у роботі [5]. Об'єктом дослідження слугував спеціальний тестовий об'єкт, тривимірні координати набору опорних точок якого апріорно відомі. Для забезпечення точності та статистичної достовірності оцінки невідомих параметрів автори виконали велику кількість вимірювань (до десятків тисяч), що в ручному варіанті є досить трудомістким завданням й істотно знижує ефективність застосування фотограмметричної системи. Для вирішення цієї проблеми було розроблено методи автоматизації процедур калібрування, основані на застосуванні оригінальних кодованих міток, які забезпечили автоматичну ідентифікацію мітки на зображенні і субпіксельне високоточне вимірювання координат центра мітки, що значно підвищило в подальших дослідженнях точність системи вимірювання.

Аналіз публікацій показав, що в усіх розглянутих методах не провадилися дослідження стосовно визначення еквівалентної фокусної віддалі неметричних цифрових знімальних камер.

Невирішені частини загальної проблеми

Однією із частин проблеми, яку необхідно розв'язати, є визначення еквівалентної фокусної віддалі неметричних цифрових знімальних камер.

Постановка завдання проблеми

Завдання полягає у тому, щоб розробити спосіб визначення еквівалентних фокусних віддалей знімальних цифрових камер. Особливість цього способу – технологічність та уніфікованість обладнання, які будуть використовуватися.

Виклад основного матеріалу проблеми

Для короткобазисної фотограмметрії у наш час застосовують цифрові неметричні камери, переважно

з варіооб'єктивами. Варіооб'єктиви являють собою єдину оптичну систему, в якій компоненти взаємно переміщуються один відносно одного, за рахунок чого змінюється еквівалентна фокусна віддаль $f'_{екв}$ системи зі збереженням різкості зображення.

Варіооб'єктив найпростішої конструкції складається з двох компонентів з фокусними віддальми f'_1 і f'_2 ; зміна $f'_{екв}$ і a' досягається роздільним переміщенням кожного із компонентів у один бік; $f'_{екв}$ і a' визначають з рівнянь [1]

$$f'_{екв} = \frac{f'_1 \cdot f'_2}{f'_1 + f'_2 - d}, \quad (1)$$

$$a' = f'_{екв} \left(\frac{f'_1 - d}{f'_1} \right), \quad (2)$$

де d – віддаль між задньою головною площиною першого компонента і передньою головною площиною другого компонента; a' – віддаль від останньої головної площини до площини зображення.

Із виразів (1), (2) випливає, що зі зміною d змінюється і $f'_{екв}$.

Отже, для визначення еквівалентної фокусної віддалі необхідно мати значення d , яке реально можна безпосередньо виміряти, наприклад, за допомогою штангенциркуля.

Застосовуючи формулу (1), знайдемо d та перейдемо до середньої квадратичної похибки цієї величини. З'ясуємо, чи можливо одержати значення d із необхідною точністю для подальшого розрахунку еквівалентної фокусної віддалі.

Якщо прийняти, що $f'_1 = f'_2 = f$, середня квадратична похибка m_d набуде вигляду:

$$m_d = \left[\left(\frac{2f}{f'_{екв}} - 2 \right)^2 \cdot m_f^2 + \left(\frac{f^2}{f'^2_{екв}} \right)^2 \cdot m_{f'_{екв}}^2 \right]^{1/2}, \quad (3)$$

де $f = 55 \text{ мм}$ – фокусна віддаль цифрової камери Canon EOS-450D; $f'_{екв} = 30 \text{ мм}$ – еквівалентна фокусна віддаль; $m_{f'_{екв}} = m_f = 0,005 \text{ мм}$ – середні квадратичні похибки визначення f .

Обчисливши середню квадратичну похибку, одержали очікувану точність вимірювання: $m_d = 0,006 \text{ мм}$. Тобто з такою точністю безпосередніми промірами визначити віддаль між задньою головною площиною першого компонента і передньою головною площиною другого компонента об'єктива цифрової камери практично неможливо.

Щоб довести, що фокусна віддаль встановленої на об'єктиві камери та еквівалентна фокусна віддаль істотно різняться, розрахуємо z' – переміщення об'єктива при фокусуванні на ту або іншу дистанцію. Розглянемо розрахунок шкали дистанції. На рис. 1 зображено оптичну систему 1 фотооб'єктива.

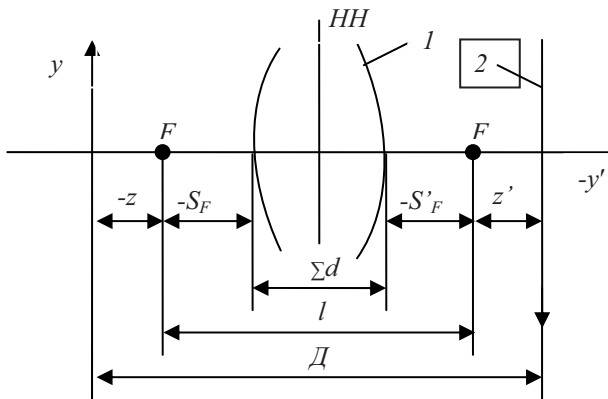


Рис. 1. Схема для розрахунку шкали дистанції знімання

Прийmemo, що відстань D від об'єкта знімання u до площини 2 зображення $-y'$, яке називається дистанцією знімання, задано. Тоді виведемо формулу для визначення z' . На рис. 1 маємо $D = -z + l + z'$, звідки

$$z = l + z' - D, \quad (4)$$

де $l = -s_F + \sum d + s'_F$; $\sum d$ - сума товщин і повітряних проміжків системи.

Так, за формулою Ньютона

$$zz' = -f'^2, \quad (5)$$

тоді із виразу (4) з урахуванням (5) отримаємо

$$\begin{aligned} lz' + z'^2 - Dz' + f'^2 &= 0; \\ z'^2 - (l - D) \cdot z' + f'^2 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Розв'язавши рівняння (6), одержимо формулу для підрахунку z' :

$$z' = \frac{D - l}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{D - l}{2}\right)^2 - f'^2}. \quad (7)$$

У нашому випадку, із застосуванням цифрової неметричної камери Canon EOS-450D при встановленій фокусній віддалі 55 мм та значенні $l = 168,5$ мм, переміщення об'єктива відносно віддалей до об'єкта наведено в таблиці.

Дані шкали дистанцій до об'єктива
цифрової камери Canon EOS-450D

D , см	$f'_{екв}$, мм	z' , мм
23	30,682	14,850
46	40,532	10,775
76	44,737	5,159
100	44,628	3,654

На підставі наведених даних можна зробити висновки, що переміщення z' об'єктива має найбільше значення при фокусуванні на близьку дистанцію $D=23$ см та прямує до мінімуму під час фотографування об'єктів, які віддаляються ($D=100$ м, $z' = 3,654$ мм).

Отже, як видно із вказаних значень, еквівалентна фокусна віддаль значно відрізнятиметься від встановленої, а це, своєю чергою, приведе до хибних значень при визначенні координат точок об'єктів, що досліджуються.

Автори розробили спосіб визначення еквівалентної фокусної віддалі знімальних камер на основі способу [3]. В запропонованому способі замість віддаленого предмета використовується контрольно-вимірний сітка, яка встановлюється на відстані, що відповідає об'єкту знімання.

Розташування приладів зображено на рис. 2. Електронний тахеометр приводять в робоче положення і на верхній частині зорової труби встановлюють плоске дзеркало, яке розташовують вертикально за допомогою накладного рівня. Безпосередньо поблизу від тахеометра розміщують знімальну цифрову камеру, закріплену на втулці, попередньо горизонтуючи шийку втулки підставки за допомогою накладного рівня. Дзеркало встановлюють перпендикулярно до оптичної осі камери за допомогою марок окуляра і відбитого зображення об'єктива у дзеркалі. Приводять зорову трубу вертикального кола в горизонтальне положення. Камеру встановлюють так, щоб центральна марка окуляра збігалась із центром дзеркала. Аналогічно встановлюють контрольно-вимірну сітку на відстані, яка буде використовуватись для знімання об'єкта дослідження. Відстань визначають за допомогою рулетки: відповідно вимірюють відстань від камери до дзеркала та від дзеркала до контрольно-вимірної сітки.

Технологічна схема орієнтування комплексу полягає у такому:

- контрольно-вимірну сітку орієнтують вивідними гвинтами підставки так, щоб центральна мітка окуляра камери ковзала по головній горизонтальній лінії сітки;
- дзеркало повертають на 45° відносно головної оптичної осі об'єктива камери, і посуваючи та обертаючи контрольно-вимірну сітку за допомогою підставки відносно штатива та мікрометренного гвинта, досягають збігу центрального перехрестя сітки та центральної марки окуляра;



Рис. 2. Загальний вигляд розташування приладів під час визначення еквівалентної фокусної віддалі цифрових неметричних камер

- переміщаючи зображення марки за допомогою дзеркала на визначені перетини сітки (які потрапляють на край кадрової рамки камери) юстувальним гвинтом сітки, досягають рівності кутів – відповідно з лівої та правої частин контрольно-вимірної сітки.

Зорієнтувавши комплекс, визначають еквівалентну фокусну віддаль. Візують марку окуляра на відповідні перетини контрольно-вимірної сітки та знімають відліки з горизонтального кола електронного тахеометра.

Після цього виконують знімання контрольно-вимірної сітки камерою, звизувавши марку на центральне перехрестя сітки. Координати x , z вищезгаданих перетинів сітки вимірюють у вікні “Взаємне орієнтування” програмного забезпечення Models цифрової фотограмметричної станції ЦФС “Дельта-2”.

За отриманими значеннями було виявлено, що залежно від відстані до об’єкта знімання значення еквівалентної фокусної віддалі змінюється та істотно відрізняється від встановленого (див. таблицю).

Висновки

1. Відповідні розрахунки за формулою (1) довели, що в разі застосування короткобазисної фотограмметрії еквівалентна фокусна віддаль значно відрізняється від фокусної віддалі об’єктива (для фокусної віддалі об’єктива – 55 мм, зміна на відповідні відстані становить від 30 до 44 мм). Виконавці повинні враховувати цю розбіжність, оскільки така різниця істотно погіршить значення координат точок об’єкта.

2. Запропонований спосіб дає змогу визначити еквівалентну фокусну віддаль варіооб’єктива цифрової неметричної камери із точністю, не гіршою від точності вимірів координат точок об’єкта.

3. Надалі планується дослідити запропонований спосіб, щоб підвищити точність та технологічність визначення еквівалентної фокусної віддалі варіооб’єктивів цифрових знімальних камер.

Література

1. Гвоздева Н.П. Теория оптических систем и оптические измерения: учебн. для техникумов. / Н.П. Гвоздева, К.И. Коркина / – М.: Машиностроение, 1981 – 384 с.
2. Гельман Р.Н. Возможности использования обычных цифровых камер для наземной стереосъемки / Р.Н. Гельман // Геодезия и картография. – 2000. – № 4. – С. 39–41.
3. Глотов В.М. Спосіб визначення фокусної віддалі цифрових неметричних знімальних камер / В.М. Глотов, О.Д. Пащетник // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, II (20). – 2010. – С. 150–153.
4. Лунев А.А. Выбор оптимальных параметров калибровки цифровой камеры / А.А. Лунаев // Наукові праці Донецького національного технічного універ-

ситету. Серія: “Гірничо-геологічна”. – Донецьк, ДонНТУ, 2006. – Вип. 111. – Т. 2. – С. 30–37 (175 с.).

5. Knyaz V.A The Development of New Coded Targets for Automated point Identification and Non-contact 3D Surface Measurements / V.A. Knyaz, A.V. Sibiriyakov // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Hakodate, Japan, 1998. –Vol. XXXII. – Part 5. – P. 80–85.
6. Nakano K. Camera calibration techniques using multiple cameras of different resolutions and bundle of distances / K. Nakano, H. Chikatsu // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, 2010. – Vol. XXXVIII. – Part 5 – P. 484–489.
7. Tournas E. Distance error estimation for range imaging sensors / E. Tournas, M. Tsakiri // International Archives of Photogrammetry: Remote Sensing and Spatial Information Sciences – Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK, 2010. – Vol. XXXVIII. – Part 5 – P. 581–584.

Спосіб визначення зміни еквівалентної фокусної віддалі варіооб’єктива цифрової неметричної камери

В. Глотов, О. Пащетник

Розроблено спосіб визначення еквівалентних фокусних віддалей знімальних неметричних цифрових камер з метою подальшого застосування їх у короткобазисній фотограмметрії у різних галузях науки і техніки.

Способ определения изменения эквивалентного фокусного расстояния вариообъектива цифровой неметрической камеры

В. Глотов, О. Пащетник

Разработан способ определения эквивалентных фокусных расстояний съёмочных неметрических цифровых камер с целью дальнейшего применения их в короткобазисной фотограмметрии в различных областях науки и техники.

The method of determination of the changing of equivalent focal distance of the digital nonmetric camera's varyobject-glass

V. Glotov, O. Pashchetnyk

This method of determination of equivalent focal distances of survey nonmetric digital cameras was developed with the aim of their further using in brieflybase photogrammetry in different branches of science and technology.