

А.А. Шоломицький, д.т.н., доц.
А.О. Луньов, аспір.

Донецький національний технічний університет

ВИМІР СТЕНДА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ЦИФРОВИХ КАМЕР ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА

У статті розглянута нова технологія виміру стенда для калібрування цифрових камер, заснована на використанні безвідбивного електронного тахеометра. Виконано оцінку точності вимірів.

Вступ. Удосконалювання цифрової фототехніки нині дає можливість застосування цифрових фотокамер для маркшейдерської наземної фотограмметричної зйомки відкритих розробок і спостереження за деформаціями гірських виробок та технологічного обладнання. Використання цифрових камер для маркшейдерських зйомок має свої особливості, пов'язані з високою точністю вимірів. На жаль, цифрові зображення, виконані серійними цифровими камерами, мають великі погрішності, які в більшості пов'язані з дісторсією об'єктива [1, 2], які необхідно враховувати при виконанні вимірів.

Постановка задачі. Використання фотокамери для одержання метричної інформації неможливе без її попереднього калібрування. Існуючі методи калібрування можна розділити на три класи: лабораторне калібрування з використанням гоніометра або колліматора, калібрування на підставі тестового полігона та самокалібрування. Перший метод застосовується для дослідження оптичної системи камери, її стабільності в часі, зміні параметрів у різних кліматичних умовах та ін. Інші два методи застосовуються для дослідження отриманого камерою зображення [2]. Метод самокалібрування викликаний нестабільністю елементів внутрішнього орієнтування в часі і застосовується для уточнення їхніх значень для даної зйомки. Застосування калібрування за допомогою тестового полігона дає можливість визначити значення елементів орієнтування цифрової камери та параметри систематичних помилок цифрового зображення.

Основний зміст досліджень. Для виконання калібрування за допомогою тестового полігона потрібен калібрувальний стенд, на якому жорстко закріплені пункти з відомими координатами. Існуючі дотепер стенди були тривимірними, тобто були виконані в трьох вимірах [2–5]. Це можна пояснити тим, що зйомка виконувалася, як правило, тільки нормальним випадком і наявність третього виміру було обов'язковим для розв'язання задачі орієнтування знімків. Застосування конвергентної зйомки [6] дає можливість більш повного використання корисної площі знімка і не накладає обмежень на розташування камер щодо об'єкта фотографування. Останній факт привів до поширення калібрувальних полігонів, виконаних у двох вимірах, так звані плоскі калібрувальні полігони [7]. Переваги таких полігонів полягають у більш простому виготовленні, а найголовніше – у більш простому виміру.

Важливою задачею виготовлення такого стенда є визначення координат опорних точок у момент його створення і контролювання їхнього положення в часі. Від точності визначення координат залежить надійність виконання калібрування і подальшої обробки цифрових зображень. Методи виміру стенда не залежать від того, якого типу полігон вимірюється – плоский або просторовий, для пунктів калібрувального полігона повинно знаходитись три координати.

Найпоширенішим методом виміру калібруючого стенда є метод засічок, виконаний за допомогою теодоліта. Такий підхід був застосований у роботі [3]. Складність його застосування складається в трудомісткості виконання вимірів і одержанні координат пунктів стояння приладу з необхідною точністю.

На кафедрі «Геоінформатики і геодезії» Донецького національного технічного університету був створений іспитовий полігон, що відноситься до типу площинних (діапазон зміни третьої координати значно менше двох інших і складає ~ 15 мм). Створення цього полігона детально описано в роботі [8]. Вимір полігона був виконаний контрольним метром, методом трилатерації з наступним виміром третьої координати щодо деякої заданої площини. Середньоквадратична помилка визначення положення координат відповідала в плані – 0,25 мм, а за дальністю – 0,35 мм.

Після п'яти років був виконаний повторний вимір полігона з використанням електронного тахеометра Sokkia SDR-30. Вимір був виконаний у безвідбивному режимі з двох точок стояння. У процесі виконання робіт вимірювся горизонтальний кут щодо деякої початкової точки, вертикальний кут і відстань до кожного пункту, усереднена з п'ятикратних вимірів. Такі виміри виконувалися з кожної точки при двох положеннях зорової труби (КЛ та КП). Схема розташування точок стояння тахеометра щодо калібруючого стенда показана на рис. 1.

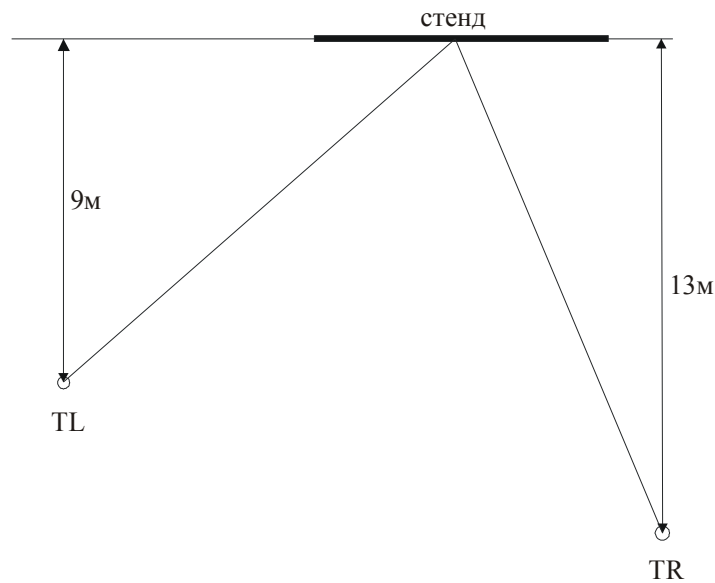


Рис. 1. Схема положення точок стояння тахеометра (вид зверху)

Отримані значення вимірюваних величин для кожної точки стояння зрівнювалися за методом найменших квадратів незалежно одна від іншої. Відхилення в кожній з координат пунктів полігона при різних положеннях зорової труби не перевищували 0,01 мм. Усереднені положення опорних пунктів, отриманих із двох точок стояння тахеометра, приймалися як кінцеві і використовувалися для подальших розрахунків. Зрівнювання виконувалося програмою зрівнювання маркшейдерських і геодезичних мереж (<http://gis.dgtu.donetsk.ua>) як вільна лінійно-кутова мережа. У результаті зрівнювання були отримані наступні середньоквадратичні помилки визначення координат, у плані – 0,1 мм, а за дальністю – 0,18 мм.

Для порівняння абсолютних значень координат необхідно один набір вимірів привести в систему відліку іншого. Таку трансформацію виконали методом просторового афінного перетворення:

$$\begin{cases} a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot z + a_4 = x', \\ b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot z + b_4 = y', \\ c_1 \cdot x + c_2 \cdot y + c_3 \cdot z + c_4 = z', \end{cases} \quad (1)$$

де x , y , z – просторові координати пунктів полігона у вихідній системі; x' , y' , z' – просторові координати пунктів полігона в перетвореній системі; a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , c_1 , c_2 , c_3 – параметри перетворення.

Для збереження ортогоналізації перетворення на рівняння (1) накладаються умови типу:

$$\begin{cases} a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 = 1, \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1, \\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 = 1. \end{cases} \quad \begin{cases} a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 = 0, \\ a_1 \cdot c_1 + a_2 \cdot c_2 + a_3 \cdot c_3 = 0, \\ c_1 \cdot b_1 + c_2 \cdot b_2 + c_3 \cdot b_3 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Тривимірні координати, отримані з першого способу (трилатерація), приймалися як координати в перетвореній системі координат, а координати зі зйомки електронним тахеометром – як координати у вихідній (1). Приведення однієї системи в іншу виконувалося ітераційно методом найменших квадратів. Процес перетворення зійшовся на другій ітерації.

Середнє відхилення між відповідними координатами з різних методів не більше 0,25 мм. Відхилення по осі Z стенда (відстань) майже в два рази більше, ніж по осях X і Y . Поверхні відхилень по відповідних осях представлені на рисунках 2–4.

Значення відхилень та вид поверхні свідчать, що відхилення носять випадковий характер, і обидва способи визначення координат приблизно рівноцінні за точністю. Обидва виміри виконувалися навесні (2000 і 2005 рр.), та характер відхилень не дозволяє зробити висновок про тимчасову або сезонну нестабільність калібруючого стенда.

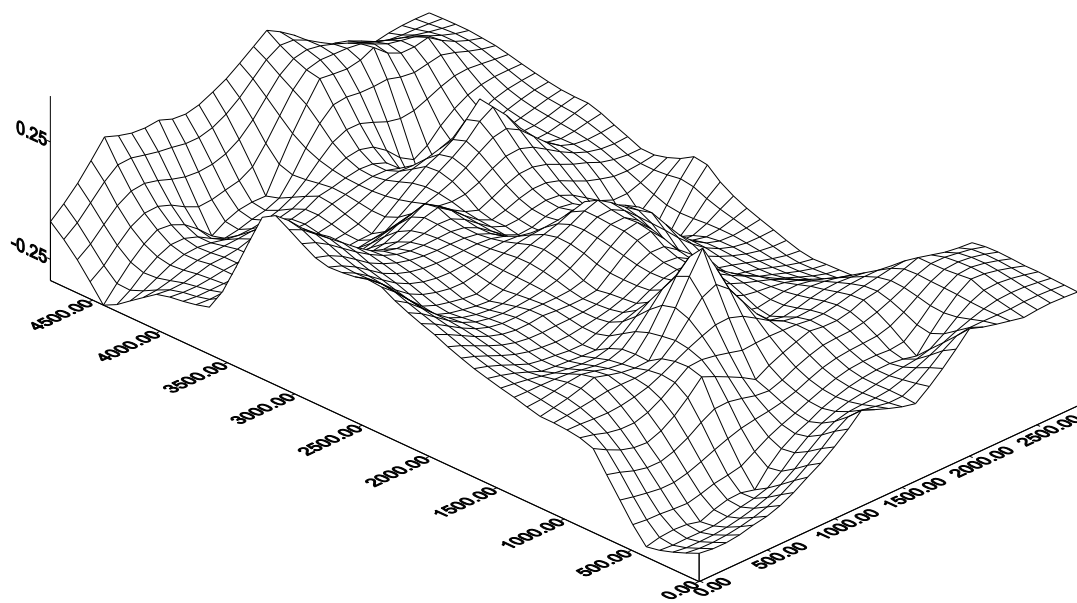


Рис. 2. Поверхня відхилень по осі X

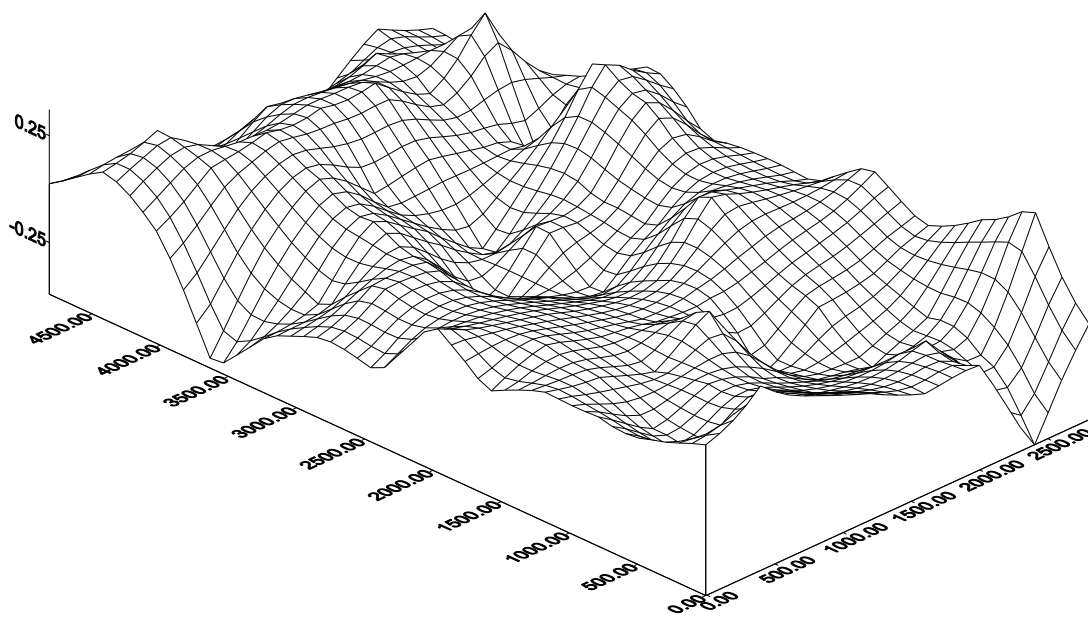


Рис. 3. Поверхня відхилень по осі Y

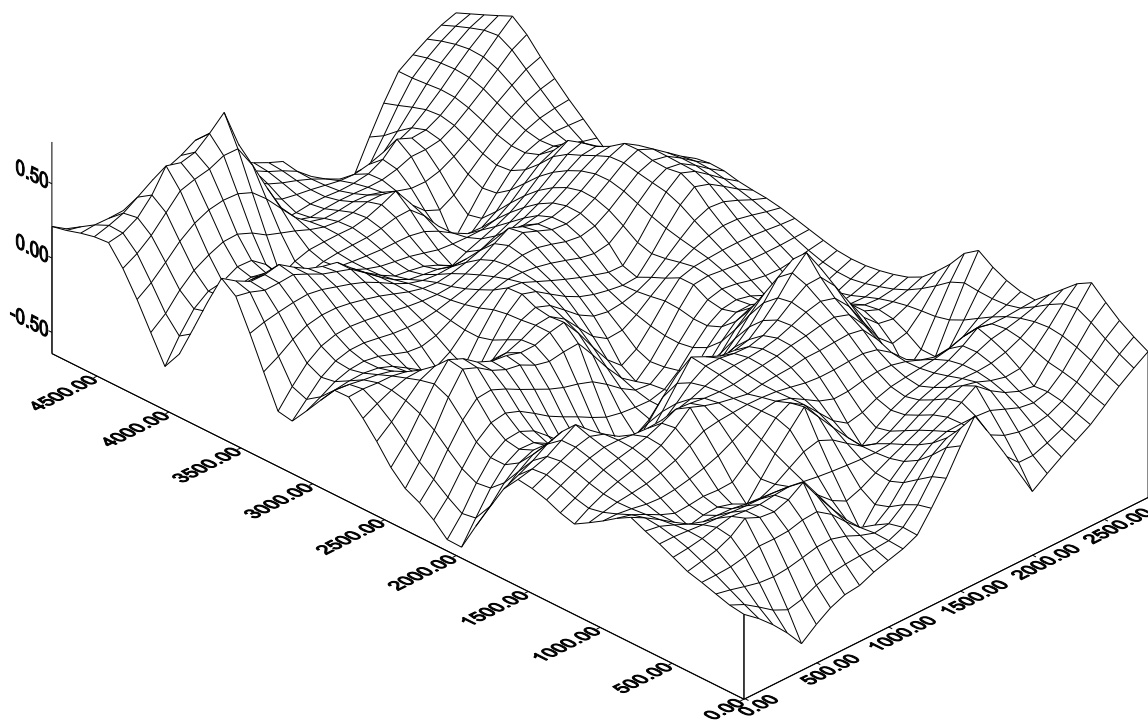


Рис. 4. Поверхня відхилень по осі Z

За технологією виконання вимірів другий метод, з використанням безвідбивного електронного тахеометра, безумовно більш прийнятний, тому що виміри першим способом виконувалися 8 днів трьома виконавцями, а другим – близько 6 годин одним виконавцем. Підготовка вихідних даних для зрівнювання в першому способі зайняла 5 годин, тому що була необхідна попередня обробка довжин. У другому випадку підготовка даних для зрівнювання зайняла кілька хвилин – час на відправку даних у програму. Час пошуку помилок приблизно однаковий в обох випадках.

Висновок. До переваг запропонованої технології визначення координат калібруючого стенда можна віднести те, що для її виконання використовувався тахеометр технічної точності, наявний у розпорядженні багатьох геодезичних і маркшейдерських відділів. Якщо для вимірювань калібрувального стенда застосувати точніше обладнання, наприклад тривимірну вимірювальну станцію на базі тахеометра NET 1200, можливо отримати ще більш точні калібрувальні стенди. На відміну від контактних вимірів така технологія може застосовуватися для полігонів, розташованих на різних спорудженнях і стінах будинків, що робить її більш зручною і гнучкою у використанні.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кучко А.С. Аэрофотография и специальные фотографические исследования. – М.: Недра, 1988. – 237 с.
2. Дубиновский В.Б. Калибровка снимков. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
3. Horst A. Beyer Geometric and Radiometric Analysis of CCD-Camera Based Photogrammetric Close-Range System. Dissertation ETH Nr. 9701, Institut fuer Geodaesie und Photogrammetrie ETH-Noenggerberg CH-8093 Zuerich. – 1992. – P. 183.
4. Гельман Р.Н., Дуңц А.Л. Лабораторная калибровка камер с большой дисторсией // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23–31.
5. Guehring, J. 3D-Erfassung und Objektkonstruktion mittels Streifenprojektion. DGK Reihe C, Heft 560: Universitaet Muenchen. – 2002. – P. 165.
6. Могильний С.Г., Луньов А.О. Узагальнені рівняння взаємного орієнтування пари знімків // Вісник геодезії та картографії. – 2004. – № 3. – С. 53–58.
7. Grenzdoerfer G. Konzeption, Entwicklung und Erprobung eines digitalen integrierten flugzeuggetragenen Fernerkundungssystems fuer Precisin Farming (PFIFF). DGK Reihe C, Heft 552: Universitaet Muenchen. – 2002. – P. 142.
8. Шоломицкий А.А., Шатохин А.Л. Создание испытательного стенда для калибровки цифровых камер // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. – Вип. 45. – Донецьк, 2002. – С. 80–84.

ШОЛОМИЦЬКИЙ Андрій Аркадійович – доцент, доктор технічних наук, професор кафедри геоінформатики і геодезії Донецького національного технічного університету.

Тел. (062)-301-07-81

E-mail: sholomitskij@gis.dgtu.donetsk.ua

Наукові інтереси:

- фотограмметрія;
- маркшейдерська справа;
- ГІС-технології.

ЛУНЬОВ Андрій Олександрович – аспірант кафедри геоінформатики і геодезії Донецького національного технічного університету.

Тел. (062)-301-07-81

E-mail: lunov@gis.dgtu.donetsk.ua

Наукові інтереси:

- фотограмметрія;
- маркшейдерська справа.

Подано 26.01.07

УДК 622.528.7

Вимір стенда для калібрування цифрових камер за допомогою електронного тахеометра / Шоломицький А.А., Луньов А.О.

У статті розглянута нова технологія виміру стенда для калібрування цифрових камер, заснована на використанні безвідбивного електронного тахеометра. Виконано оцінку точності вимірів.

УДК 622.528.7

Измерение стенда для калибровки цифровых камер с помощью электронного тахеометра / Шоломицький А.А., Луньов А.О.

В статье рассмотрена новая технология измерения стенда для калибровки цифровых камер, основанная на использовании безотражательного электронного тахеометра. Выполнена оценка точности измерения.

УДК 622.528.7

Testfield measurement for calibration of digital cameras with the help of the electronic tacheometer / Sholomitcky A.A., Lunov A.O.

The new technology of testfield measurement for calibration of digital cameras is reviewed in the article. For this purpose the electronic tacheometer in mode «without reflection» was used. The estimation of measurements accuracy is made.