

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВНУТРІШНЬОГО ОРІЄНТУВАННЯ ЦИФРОВИХ НЕМЕТРИЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ КАМЕР

В. Глотов, О. Пашетник  
Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** планові елементи, цифрові камери.

### Постановка проблеми

Застосування цифрових неметричних камер у короткобазисній фотограмметрії нині практично неможливе без визначених елементів внутрішнього орієнтування та дисторсії об'єктива. Як приклад достатньо вказати, що такий, здавалось би, незначний вплив похибок у  $x_0$  та  $z_0$  – не більше від сотої частки міліметра, призводить до спотворень моделі місцевості, що вимірюється десятками міліметрів. При застосуванні фотографічних знімальних камер визначення елементів внутрішнього орієнтування спрощувалося, оскільки прикладна рамка камер була відкрита і існувала можливість вставляти у її площину контрольно-вимірну сітку для подальшого дослідження. Однак із застосуванням цифрових камер це виявилось неможливим, адже доступу до ПЗЗ-матриці практично немає. Тому існує проблема розробки способів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних камер, адже ці елементи, як і фокусну віддаль, можливо визначати лише опосередковано.

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

Застосування цифрових неметричних камер у фотограмметрії все більше активізується. Це пояснюється такими факторами:

1. Собівартість камер значно менша, ніж метричних аналогів.
2. Роздільна здатність цих камер швидко збільшується (нині вже випускають камери з 60 млн. пікселів (фірма Hasselblad)).
3. Відповідно, застосовуючи цей ріст, можливо компенсувати розміри кадру, тобто віртуально збільшувати його без втрати роздільної здатності, оскільки для порівняння із фотографічними матеріалами достатньо мати еквівалент 16–18 млн. пікселів.

Отже, всі ці переваги дають реальну можливість упровадження цифрових камер у різних

галузях науки і техніки (в архітектурних обмірах, військовій справі, медицині тощо).

### Аналіз останніх досліджень та публікацій з цієї проблеми

Питань калібрування цифрових знімальних камер стосується значна кількість наукових праць. Розглянемо деякі з них. У публікації [1] описана система, основана на короткобазисному цифровому зніманні, що використовувався для зовнішнього вимірювання біологічних об'єктів та людського тіла. Розробники системи для знімання застосовували дві цифрові камери Kodak DC200. Для отримання максимальної точності результатів вимірювання автори визначали елементи внутрішнього орієнтування та параметри калібрування знімальної апаратури. В результаті досліджень [1] отримана точність вимірювання не перевищувала допустимої (приблизно 2 мм при відстані до об'єкта знімання 3 м). Крім того, отримано допустимі значення планових елементів внутрішнього орієнтування, які становили  $x_0 = 45,27 \pm 0,44$  пікселів;  $y_0 = 14,44 \pm 0,45$  пікселів.

Нова методика калібрування камер запропонована у роботах [2, 3]. Автори виконали серію експериментів, у результаті чого проаналізовано та оцінено елементи внутрішнього орієнтування цифрових камер Rollei D30 та PMD.

У праці [5] подаються результати оцінки цифрової неметричної камери Hasselblad 553 ELX, яку використовували для знімання історичних об'єктів в архітектурі. У результаті калібрування отримано значення планових елементів внутрішнього орієнтування камери ( $x_0 = 0,00690$  мм;  $y_0 = 0,00720$  мм), а апіорна точність вимірювання показала, що цю цифрову камеру можна використовувати для знімання архітектурних спадщин.

У [4] розкрито використання фотограмметричного методу для калібрування проектора, що є однією з головних компонент структурованого світла як одного з найточніших та автоматичних методів 3D вимірювання поверхонь об'єктів дослідження (наприклад, застосовується в медицині – для зовнішніх вимірювань патологій, архітектурі – для 3D візуалізації та документування культурної спадщини; промисловості – перевірка якості розробки тощо). У цих дослідженнях, насамперед, було відкалібровано відеопроєктор DLP 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.

#### Невирішені частини загальної проблеми

Як вже вказувалося вище, для повного і якісного застосування цифрових неметричних камер у стереофотограмметричному методі необхідно насамперед розробити високоточні способи визначення елементів внутрішнього орієнтування, зокрема планових елементів.

#### Постановка завдання

Розробити високоточний спосіб оперативного визначення планових елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер.

#### Виклад основного матеріалу

Для вирішення цієї проблеми передусім треба розрахувати, із якою точністю необхідно визначати ці елементи. Це актуальне питання було опрацьовано авторами у роботах [6, 7]. Дозволимо собі навести тільки основні результати та коментарі, які необхідні для подальшого логічного викладу матеріалу (див. табл. 1).

За результатами розрахунків які наведені у табл. 2, зроблено такі висновки:

1. Априорна оцінка точності визначення планових координат елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних камер, які застосовуються у короткобазисній фотограмметрії, дала змогу встановити відповідні допуски і вимоги щодо подальшої можливості впровадження знімальної апаратури, розроблення технологічних схем знімання та опрацювання цифрових зображень.

#### Значення середніх квадратичних похибок планових елементів внутрішнього орієнтування, мм

$Y_{\phi},$ м	$m_{x_0}$		$m_{z_0}$	
	$\alpha = \omega = \chi = 0$	$\alpha = \omega = \chi = 3$	$\alpha = \omega = \chi = 0$	$\alpha = \omega = \chi = 3$
<b>1</b>	0,106	0,107	0,109	0,110
<b>1,5</b>	0,071	0,072	0,074	0,075
<b>2</b>	0,053	0,054	0,056	0,057
<b>2,5</b>	0,043	0,044	0,046	0,047
<b>3</b>	0,036	0,037	0,039	0,041

2. Аналізуючи значення, наведені у табл. 1, треба зробити висновки, що точність, з якою необхідно визначати планові елементи орієнтування, практично тотожна. Це пояснюється тим, що розміри ПЗЗ-матриці невеликі, а відтак, похибки елементів не перевищують 0,01.

3. Залежність зміни похибок елементів від відстані є у першому наближенні гіперболічною, причому зі збільшенням відстані від об'єкта точність визначення елементів повинна зростати.

4. Важливим висновком є те, що похибки елементів для ідеального випадку знімання практично не відрізняються від похибок для планового випадку. Це дає змогу стверджувати, що знімання цифровими камерами можна робити “з руки” без використання додаткових орієнтирних пристроїв.

Керуючись цими положеннями, запропоновано спосіб визначення елементів внутрішнього орієнтування для цифрових неметричних камер. В основу цього способу покладено принцип, що при обертанні предмета, знімання якого виконують, центр його обертання буде описувати коло із центром, який збігатиметься із головною оптичною віссю знімальної камери.

Технологічна реалізація способу така. Встановлюють камеру на штативі і нівелюють її за допомогою накладного або рамного рівня. В безпосередній близькості від неї встановлюють штатив із фрагментом контрольно-вимірної сітки, яка жорстко закріплена на внутрішньому кільці кулькопідшипника, що запресований у вертикальну платівку, яка, своєю чергою, кріпиться до тригерної втулки; цей вузол вставляється у підставку та приводиться в робоче положення аналогічно за допомогою накладного рівня (рис. 1). Отже, контрольно-

вимірні сітка займає вертикальне положення та може обертатися навколо своєї горизонтальної осі на  $360^\circ$ . Необхідно встановити камеру і сітку так, щоб оптична вісь камери приблизно проходила через центр обертання контрольно-вимірної сітки. Це можна реалізувати за допомогою вивідних гвинтів підставок.

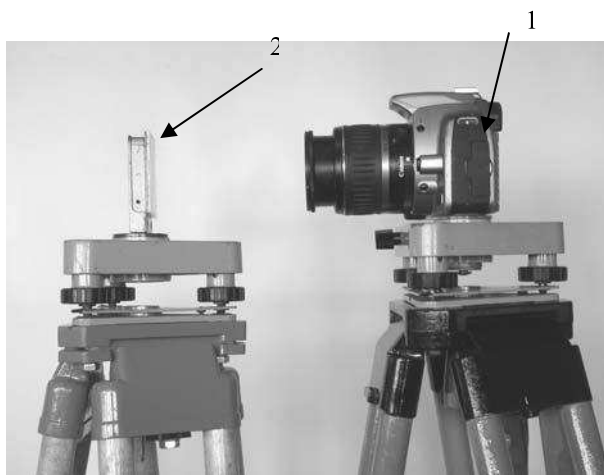


Рис. 1. Розташування приладів під час визначення ЕВНО цифрових камер:  
1 – цифрова знімальна камера;  
2 – контрольно-вимірні сітка на вертикальному тримачі

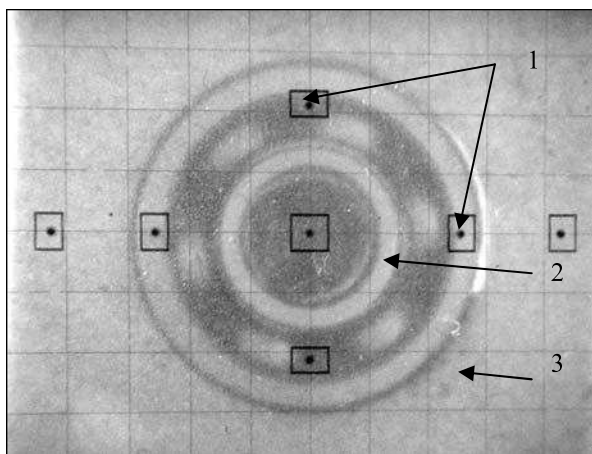


Рис. 2. Схема поля зору відеошукача камери із відображенням контрольно-вимірної сітки:  
1 – мітки у полі зору відеошукача;  
2 – внутрішнє кільце кулькопідшипника, до якого кріпиться сітка; 3 – перетин рисок контрольно-вимірної сітки

Після приведення комплексу у робочий стан оператор через відеошукач встановлює сітку розворотом у перше положення, – щоб основні риси сітки збіглися із мітками відеошукача (рис. 2), і виконує знімання сітки.

Далі сітку повертають відповідно на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  та  $270^\circ$  і також у цих положеннях роблять знімки. Передають цифрові зображення у вікно “взаємне орієнтування” ЦФС “Дельта-2” і здійснюють вимірювання координат  $(x, z)$  центрального перехрестя сітки. У результаті отримують координати, за якими можливо визначити планові елементи внутрішнього орієнтування. Для наочності звернемося до координатної системи, на якій відображені координати, що виміряні на ЦФС. На рис. 3 координати точок 1, 2, 3, 4 – це центральний перетин контрольно-вимірної сітки при кутах повороту  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ .

Якщо тепер сполучити відповідно протилежні точки, то утворюються два відрізки 1–3 та 2–4; точка, що утворилася через перетин цих відрізків, і буде проекцією точки S на площину зображення, тобто координати цієї точки є плановими елементами внутрішнього орієнтування  $x_0, z_0$ . Через цю точку проведемо коло із радіусом половини відрізків 1–3 та 1–4, то в результаті утвориться коло, яке буде являти собою “коло похибок” (термін введений авторами). Воно виникає через неточне орієнтування камери та сітки одна відносно одної. Але завдяки обертанню сітки ці похибки компенсуються, причому чим радіус кола менший, тим орієнтування приладів точніше. Значення координат центральних перехресть зображення контрольно-вимірної сітки подано у табл. 2.

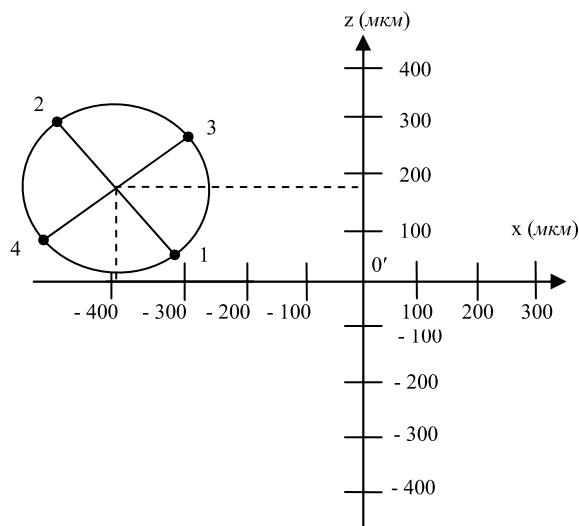


Рис. 3. Координатна система, на якій нанесено координати точок центра (1,2,3,4) сітки при різних кутах обертання та показано “коло похибок”

Таблиця 2

**Значення координат центральних  
перехресть зображення  
контрольно-вимірної сітки**

Кутове положення сітки	Номер точки	Координати центрального перехрестя	
		<i>x</i> , мкм	<i>z</i> , мкм
0°	1	- 581,9	114,8
90°	2	- 465,1	373,8
180°	3	- 214,5	253,3
270°	4	- 337,0	8,4
360°	1	- 383,1	112,7

За формулами (1) визначимо середні значення елементів внутрішнього орієнтування:

$$x_{0_{\text{сеп.}}} = \frac{x_{0_1} + x_{0_2}}{2}, \quad (1)$$

$$z_{0_{\text{сеп.}}} = \frac{z_{0_1} + z_{0_2}}{2}.$$

Де

$$x_{0_1} = \frac{x_1 + x_3}{2},$$

$$x_{0_2} = \frac{x_2 + x_4}{2},$$

$$z_{0_1} = \frac{z_1 + z_3}{2},$$

$$z_{0_2} = \frac{z_2 + z_4}{2}.$$

В результаті розрахунків отримаємо  $x_{0_{\text{сеп.}}} = -398,2 \text{ мкм}$ ;  $z_{0_{\text{сеп.}}} = 184,05 \text{ мкм}$ .

Необхідно зазначити, що за результатами досліджень різниця між визначеними координатами за відрізками 1–3 та 2–4 має розбіжність не більше ніж 5 мкм. А це свідчить, що похибка – у межах точності вимірювань.

### Висновки

1. Аналіз наведеної літератури свідчить про актуальність теми: цифрові неметричні камери все більше застосовуються для знімання об'єктів у різних галузях науки та техніки.

2. Розробляються різноманітні способи та методики визначення внутрішніх елементів цих камер з метою підвищення точності отримання координат точок досліджуваних об'єктів.

3. Запропонований спосіб дає змогу оперативно визначити елементи внутрішнього орієнтування камер із необхідною точністю, тобто, фактично, із точністю вимірювань координат на цифровій фотограмметричній станції (4–5 мкм), оскільки технологія способу виключає похибки за орієнтування камери та сітки, а похибка нанесення рисок на сітку не перевищує 1–2 мкм.

4. Надалі планується детальніше дослідити запропонований спосіб та можливі джерела похибок, а відтак підвищити його точність.

### Література

1. Глотов В. Аналіз впливу похибок елементів внутрішнього орієнтування при короткобазисному стереофотограмметричному зніманні / В. Глотов, О. Пащетник // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008.– Випуск II (16). – С. 117–122.

2. Глотов В. Визначення апріорної точності планових елементів внутрішнього орієнтування цифрової камери Canon EOS 350D / В. Глотов, О. Пащетник // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009.– Випуск I (17). – С. 217–221.

3. Saadateseresh M., Jafari A. Direct sensor-oriented calibration of the projector in coded structured light system // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3–11 July, 2008 y. – Beijing, China 2008. – Vol. XXXVII. – Part B5. – P. 119–124.

4. Tokarczyk R. Close range photogrammetry system for medicine and railways / R. Tokarczyk, S. Mikrut // 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.

5. Wilfried K. Integrated range camera calibration using image sequences from hand-held operation / Karel Wilfried // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3–11 July,

2008 у. – Beijing, China 2008. – Vol. XXXVII. – Part B5. – P. 945 – 952.

6. Xie W. Multi-image based camera calibration without control points / W. Xie, Z. Zhang, J. Zhang // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences: XXXV congress ISPRS, 12 – 23 July, 2004 у. – Istanbul, Turkey, 2004. – Comm. 5. – P. 36–41.

7. Zolfaghari M. Non metric cameras in architectural photogrammetry / M. Zolfaghari, A. Malian // Geoinformation for all: XIXth Congress of the international society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS): the international congress, 16–23 July, 2000 у. – Amsterdam, the Netherlands, 2000. – P. 501–508.

**Спосіб визначення планових елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер**

В. Глотов, О. Пащетник

Авторами запропоновано спосіб визначення планових елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер, які, зокрема, застосовуються у короткобазисній фотограмметрії. Наведено результати необхідного значення точності та технологію визначення цих елементів. Акцентується увага на уніфікованості засобів, що застосовуються для реалізації способу.

**Способ определения плановых элементов внутреннего ориентирования цифровых неметрических съёмочных камер**

В. Глотов, О. Пащетник

Авторами предложен способ определения плановых элементов внутреннего ориентирования цифровых неметрических съёмочных камер, которые, в частности, применяются в короткобазисной фотограмметрии. Приведены результаты необходимого значения точности и технология определения этих элементов. Акцентируется внимание на унифицированности средств, которые применяются для реализации способа.

**The method of determination of the planned elements of internal orientation of digital unmetrical survey camera**

V. Glotov, O. Pashchetnyk

The method of determination of the planned elements of internal orientation of digital unmetrical survey camera, which in particular are used in short-basis photogrammetry, are offered by authors. The results of necessary value of precision and technology of determination of these elements are shown. The attention is stressed on standartization of facilities which are used for realization of method.

**IUGG XXV ГЕНЕРАЛЬНА АСАМБЛЕЯ  
“НАУКИ ПРО ЗБЕРЕЖЕННЯ ПЛАНЕТИ”**

**відбудеться**

**27.06–8.07. 2011 р., м. Мельбурн, Австралія**

Інформацію можна отримати за адресою:  
<http://www.iugg2011.com>