

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТОЧОК ОБ'ЄКТА ПРИ НАЗЕМНОМУ ЦИФРОВОМУ ЗНІМАННІ

Глотов В., Пащетник О., 2008

В статье проведен анализ влияния погрешностей элементов внешнего ориентирования при цифровой наземной съемке.

The analysis of influence the errors of exterior orientation elements on the coordinates when digital external survey.

Постановка проблеми. У наземному цифровому зніманні процес впровадження неметричних камер набув вже доволі широкого розповсюдження, але ще не повністю розроблені технологічні схеми фотограмметричного опрацювання зображень.

Отже, постає проблема розробити та дослідити особливості цифрового стереофотограмметричного методу із застосуванням неметричних цифрових камер [1, 2]. Це дало б можливість подальшого його застосування у кінематичній фотограмметрії для розв'язування різноманітних народногосподарських завдань. Тому необхідно дослідити вплив похибок елементів орієнтування на точність визначення координат точок об'єктів, що підлягають зніманню, позаяк саме вони вносять істотні похибки.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Вирішення проблеми точності та метричності цифрових знімальних систем, які застосовують у короткобазисному цифровому зніманні, дасть змогу значно розширити діапазон застосування стереофотограмметричного методу у різних галузях народного господарства: в архітектурних обмірах, військовій справі, дослідження деформацій інженерних споруд, і особливо – в медицині [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню цієї проблеми. Велика кількість наукових праць присвячена питанням застосування неметричних камер та їх дослідження. Розглянемо деякі з них.

У публікації [9] виконано калібрування цифрової камери, де в результаті роботи було проаналізовано і оцінено похибки внутрішнього та зовнішнього орієнтування. Ці результати продемонстрували достатню надійність методів, що застосовувались для калібрування камер, крім того, після фотограмметричної обробки знімків, похибки фотограмметричних вимірювань не перевищували допустимих (1–3 мм).

Дослідження можливості використання неметричної камери (Canon D30) в архітектурі та архіології розглянуто в роботі [10]. Досліди показали, що похибки в межах 5–10 мм можуть бути досягнуті під час знімання об'єкта на відстані до 15 м. Однак для нашої роботи така точність недостатня для розв'язання поставлених задач [3, 4].

В статті [8] розглядається методика застосування і особливості фотограмметричного калібрування відеозображень, отриманих неметричними відеокамерами під час наземного знімання об'єкта з малої відстані. У момент калібрування, насамперед, визначали похибки елементів зовнішнього та внутрішнього орієнтування. Експериментальні роботи показали, що при відстані до об'єкта 3 м, $f = 50\text{ мм}$, розмірах тест-об'єкта $1\text{ м} \times 1\text{ м}$ і оптимальних параметрах знімання ($B = 2,5\text{ м}$), точність визначення просторових координат на шести контрольних точках відповідала в масштабі точності вимірювань маркерів на відеознімках.

У праці [3] виконано калібрування цифрових камер з метою встановлення можливості їх застосування в аеро- та фототеодолітному зніманні. Для калібрування було запропоновано застосовувати умовно-статистичний метод дослідження інструментальної точності приладів. Досліджувались різні види поліномів з використанням членів різних ступенів, в результаті чого були одержані випадкові похибки порядку 2–3 мкм, тобто такого самого порядку, як і знімки, отримані метричними камерами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, що стосуються дослідження неметричних камер розглянуто також у статті [5].

Невирішені частини загальної проблеми. Актуальною залишається проблема підвищення точності визначення просторових координат точок об'єктів під час знімання неметричними цифровими камерами.

Постановка завдання. Встановити межі похибок елементів зовнішнього орієнтування, під час яких їх вплив на точність визначення координат точок об'єкта у разі наземного цифрового знімання не перевищував би впливу похибок вимірювання знімків.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо вплив деяких похибок елементів зовнішнього орієнтування.

Похибка базису знімання

Для визначення значення похибки базису знімання скористаємось такими формулами [7]:

$$\delta A = \frac{\delta B f}{p}, \quad (1)$$

звідки

$$\delta B = \frac{\delta A p}{f}, \quad (2)$$

де $f = 53,856 \text{ мм}$ – фокусна віддаль; $p = 5 \text{ мм}$ – середнє значення повздовжнього паралаксу.

Отже, $\delta B = 0,1 \text{ мм}$.

Аналізуючи отримані результати, а саме $\delta B = 0,1 \text{ мм}$, можна зробити такі висновки: доречніше буде виконувати знімання “з руки” неметричною камерою, оскільки, щоб встановити базис для фототеодолітного комплексу з точністю $0,1 \text{ мм}$, необхідно використовувати відповідні додаткові пристрої (сталій базис) тощо [6].

Похибка кута конвергенції (γ)

Похибку в абсцисі розрахуємо за формулою

$$\delta x_1 = f \operatorname{tg} \gamma + x_1' \operatorname{tg}^2 \gamma + \frac{x_1'^2 \operatorname{tg}^3 \gamma}{f \sin^2 \gamma} + \frac{x_1'^3 \operatorname{tg}^4 \gamma}{f^2 \sin^2 \gamma} + \frac{x_1'^3 \operatorname{tg}^4 \gamma \cdot \sin \alpha_1' \operatorname{tg}(\alpha_1' + \gamma)}{f^2 \sin^2 \gamma \sin(\alpha_1' + \gamma)}, \quad (3)$$

де $\alpha_1' = 10^\circ 42' 27''$; $\alpha_1 = 11^\circ 06' 06''$; $f = 53 \text{ мм}$; $x_1' = 10,02 \text{ мм}$; $\gamma = \alpha_1 - \alpha_1' = 0^\circ 23' 38''$; підставивши значення в формулу (11), отримаємо $\delta x_1 = 0,377 \text{ мм}$.

Похибку конвергенції обчислимо за формулою

$$\gamma'' = \frac{f \cdot \rho \cdot 0,005}{f^2 + x_1'^2}. \quad (4)$$

У результаті отримаємо $\gamma'' = 19''$. Це означає, що, встановлюючи фототеодолітний комплекс, необхідно врахувати кут γ – не гірше $19''$, що на практиці практично неможливо.

У разі відхилення головного напрямку від заданого напрямку більше $19''$, необхідно вводити поправки $\Delta_1 + \Delta_2$ в усі виміряні абсциси x_1' і паралакси p' . Отже,

$$\Delta_1 = f \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (5)$$

$$\Delta_2 = \frac{x_1'^2 \operatorname{tg}^3 \gamma}{f \sin^2 \gamma}. \quad (6)$$

Величини поправок залежно від значення абсциси за різних кутів відхилення фокусної віддалі наведені в табл.1.

Таблиця 1

**Величини поправок залежно від значення абсциси
за різних кутів відхилення фокусної віддалі**

Величина відхилення γ	Назва поправок	Абсциса в мм		
		(60%) 13	(70%) 15	(80%) 18
10"	$\Delta_1 + \Delta_2$	0,0027	0,0028	0,0029
	Δ_1	0,0025	0,0025	0,0025
	Δ_2	0,0002	0,0003	0,0004
20"	$\Delta_1 + \Delta_2$	0,0054	0,0055	0,0056
	Δ_1	0,0051	0,0051	0,0051
	Δ_2	0,0003	0,0004	0,0005
30"	$\Delta_1 + \Delta_2$	0,0081	0,0083	0,0085
	Δ_1	0,0077	0,0077	0,0077
	Δ_2	0,0004	0,0006	0,0008

Із результатів, наведених у табл. 1, очевидно, що при будь-яких значеннях абсциси та при різних кутах відхилення фокусної віддалі, величини поправок не перевищують допустимі значення.

Характер похибок у визначенні віддалей до шуканих точок при похибці конвергенції визначаємо за формулою

$$D = \frac{B}{p \cos \alpha_1} [f \cos(\varphi + \gamma) \pm x_2 \sin(\varphi + \gamma)], \quad (7)$$

де $\varphi = 90^\circ$; $p = \frac{(100 - Px)}{100} \cdot lx$, звідки $lx = 22,2 \text{ мм}$, при $Px = 60\%, 70\%, 80\%$.

Результати обчислень за формулою (7) наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Характер похибок у визначенні віддалей до шуканих точок
при похибці конвергенції**

Величина похибки конвергенції γ в сек.	Істинне значення паралаксів в мм	Істинне значення абсцис x в мм		
		(60%) 13	(70%) 15	(80%) 18
10"	9 (60 %)	0,22	0,25	0,30
20"	7 (70 %)	0,28	0,32	0,39
40"	4 (80 %)	0,49	0,57	0,68
60"				

Примітка. Величина похибки у відстанях вказана в метрах для $f = 53 \text{ мм}$ і $B = 15 \text{ см}$.

Похибка скосу

Визначимо похибку відхилення фокусної віддалі знімальної камери $\delta\varphi_1$ при $\delta x_1 \leq 0,005 \text{ мм}$, за формулою

$$\delta\varphi'' = \frac{0,005 \cdot \rho}{f}. \quad (8)$$

Підставивши значення в формулу (8), отримаємо $\delta\varphi''=19''$. Отже, це означає, що для врахування похибки скосу необхідно застосовувати орієнтирні пристрої з точністю встановлення кутів порядку $10''-15''$.

Похибка розвороту

а) вплив похибки розвороту на точність визначення абсцис і паралаксів

Похибку розвороту визначимо за формулою

$$\delta\chi = \frac{-\delta x_1 \rho''}{z'_1}, \quad (9)$$

$$\delta\rho = \frac{-(z'_1 + z'_2)\delta\chi}{\rho''}. \quad (10)$$

Отже, при $z'_1 = z'_2 = 7\text{мм}$, $\delta\chi = 2'27''$, похибка $\delta\rho = 0,010\text{мм}$, тобто, отримане значення перевищує апріорну точність вимірювання.

$$\delta\chi'' = \frac{\delta\rho \cdot \rho''}{z'_1 + z'_2} \quad (11)$$

Потім одержимо, що допустима кутова величина похибки розвороту в цьому випадку, при $\delta\rho = 0,005\text{мм}$, буде $\delta\chi = 1'14''$.

б) вплив похибки розвороту на точність визначення ординат

Визначимо допустиму величину кута розвороту ПЗЗ-матриці навколо головної точки знімка при максимальному значенні $x'_1 = 10,02\text{мм}$ і $\delta x = 0,005\text{мм}$, за такими формулами:

$$\delta\chi'' = \frac{\rho'' \cdot \delta x_1}{x'_1}, \quad (12)$$

$$\delta\rho = \frac{-(z'_1 - z'_2) \cdot \delta\chi}{\rho''}, \quad (13)$$

$$\delta x_1 = \frac{\rho \cdot \delta\chi}{\rho''}. \quad (14)$$

Отже, після розв'язку рівнянь одержимо допустимі значення $\delta\chi = 2'$, $\delta\rho = 0,005\text{мм}$, $\delta x_1 = 0,003\text{мм}$, що не перевищують допустимі значення апріорної точності вимірювання [5].

Висновки. 1. Аналізуючи отримані результати необхідно відзначити, насамперед, що фактично застосування орієнтирного пристрою для цифрового фототеодолітного комплексу дуже проблематично, оскільки точність встановлення вихідних величин доволі висока і реалізувати це під час знімальних робіт не реально.

2. Враховуючи вищевикладене, є два способи вирішення цієї проблеми: можливість застосування оберненої фотограмметричної засічки або аналітичне врахування похибок елементів зовнішнього орієнтування.

1. Глотов В. Особливості визначення фокусної відстані цифрових фототеодолітних камер // Міжвідомч. наук.-техн. збірник "Геодезія, картографія і аерофотознімання". – 2003. – №63. – С. 112-127. 2. Глотов В.М. Особливості цифрового знімання при створенні великомасштабних планів Антарктичного узбережжя в районі станції „Академік Вернадський” // Наук.-техн. журн. „Вісник

геодезії та картографії”. – К, 2005 р. – № 3. – С.22–25. 3. Готов В.М., Майоров Г.Є. Метод калібрування цифрових камер// Матер. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку” . – Львів–Краків, 2000. – С.163–169. 4. Готов В., Пацетник О. Аналіз застосування стереофотограмметричного методу для виявлення зовнішніх ознак у клінічній медицині // Збірн.наук. праць “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів, 2007, – 2-й вип. – С. 129–135. 5. Готов В., Пацетник О. Аналіз впливу похибок елементів внутрішнього орієнтування при короткобазисному стереофотограмметричному зніманні // Збірн.наук. праць “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Л. – 2008, – 2-й вип. – С. 117–122. 6. Катушков В.О., Сердюков В.М. та ін. Прикладна фотограмметрія – К.: Вид-во КДУБА, 1994. – 280 с. 7. Рапасов П.Н. Составление карт методом комбинированной наземной и воздушной стереофотограмметрической съемки. – М.: Геодезиздат, 1958. – С.26–100. 8. Шкурченко Ю.В. Фотограмметричне калібрування відеозображень при зніманні з малих відстаней // Матер. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф. “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку”. – Львів–Краків,-2000. С.160–162. 9. Wenhan XIE, Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. Multi-image based camera calibration without control points // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences/ XXXV congress ISPRS/ Istanbul, – 2004. Comm. 1. 10. Cardenala J., Mataa E., Castroa P., Delgadoa J., Hernandeza M., Pereza J., Ramos M., Torresa M. Evaluation of a digital non metric camera (Canon D30) for the photogrammetric recording of historical buildings // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences/ XXXV congress ISPRS/ Istanbul, – 2004. Comm. 5.