

В.Г. Левицький, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЗНІМКІВ, ОТРИМАНИХ НЕМЕТРИЧНИМИ ЦИФРОВИМИ КАМЕРАМИ ПРИ ВИКОНАННІ ФОТОГРАМЕТРИЧНОЇ ЗЙОМКИ

(Представлено к.т.н., доц. Соколевським Р.В.)

Виконано порівняльний аналіз існуючих цифрових фотокамер, проаналізований вплив дисторсії оптичної системи на геометрію цифрових знімків та наведені основні залежності для визначення дисторсії і трансформування координат точок знімків між різними координатними системами проективно-геометричної моделі цифрової камери.

Вступ. Розвиток фотограмметрії в значній мірі визначається прогресом обчислювальної техніки і суміжних геоінформаційних технологій. З підвищенням потужності обчислювальних машин фотограмметричні прилади еволюціонували від механічних (аналогових) до аналітичних, від аналітичних до цифрових фотограмметричних станцій (ЦФС). Розвиток мікроелектроніки і розробка нових типів сенсорів, які здатні фіксувати електромагнітне випромінювання з високими геометричними і радіометричними параметрами, спричинив перехід від одержання зображень традиційними плівковими камерами з наступним скануванням негативів до безпосереднього одержання цифрових знімків у процесі фотографування. Особливості і проблеми, які виникають при використанні цифрової техніки з метою фотограмметричної зйомки, є актуальним питанням на сучасному етапі розвитку наземної фотограмметрії, яка безперечно стає цифровою.

Постановка проблеми. На сьогодні професійні метричні цифрові камери характеризуються широкими функціональними можливостями та високою точністю, але масове використання такого обладнання стримує його висока ціна. Тому дослідження можливості і доцільності використання порівняно дешевих неметричних цифрових камер для фотограмметричної зйомки є важливим завданням, яке потребує вирішення.

При геометричній обробці цифрових знімків опираються на класичну фотограмметрію, теорія і практика якої базується на аналогових фотографічних знімках та не повністю відповідає новим технологіям. Тому створення цілісної теорії обробки цифрових знімків, формування нових базових принципів, а також розширення теоретичних і практичних положень цифрової фотограмметрії є науковою проблемою.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання цифрових неметричних камер з метою фотограмметричної зйомки, визначення основних переваг і недоліків даних цифрових камер в порівнянні з професійним обладнанням та аналіз дисторсії оптичної системи на основі моделювання проективно-геометричної моделі цифрової камери.

Аналіз досліджень та публікацій. Розробкою способів і методики аналітичної обробки знімків та рішенням деяких задач фотограмметрії займалися А.Н. Лобанов [1], Н.Я. Бобир, Г.Д. Федорук [2], О.Л. Дорожинський [3], В.М. Глотов [4], Ю.Г. Кордуба [5], С.Г. Могильний [6]. Серед іноземних вчених, які вирішували фотограмметричні задачі, слід відзначити D.C. Brown [7], R.Y. Tsai [8], C.S. Fraser [9], R.Matsuoka [10]. Більша частина вищенаведених авторів не враховувала наявності тангенціальної дисторсії. Взагалі дисторсію, як одну з типів оптичної аберації, досліджували такі вітчизняні науковці, як Б.Н. Бегунов [11], Е.И. Бутиков [12], Н.П. Заказнов [13], Г.В. Креопалова [14] та інші.

Сучасна цифрова фотограмметрія передбачає використання цифрового знімка, опрацювання якого виконується на ЦФС, до складу якої входить комп'ютер, периферійні пристрої та програмне забезпечення для розв'язання фотограмметричних задач. ЦФС дозволяє проводити більшість робіт в автоматичному режимі з мінімальним втручанням людини на стадії безпосереднього контролю результатів. Цифровий знімок можна отримати двома шляхами: скануванням фотографічного зображення, зробленого плівковою фотографічною камерою, або використанням цифрової камери.

У цифровій камері об'єктив проектує зображення на «пристрій із зарядовим зв'язком» (ПЗЗ-матрицю) – сукупність світлочутливих елементів, кожен з яких виробляє фотострум залежно від кількості світлової енергії, яка падає на нього. Потім фотострум посилюється, перетворюється та фіксується на оптичному носії інформації [15].

До переваг цифрового способу отримання знімків відносять: відсутність витрат на плівку, її проявлення та сканувальне обладнання, контроль якості знімків і можливість розширеного налаштування параметрів камери, великі об'єми пристроїв збереження, які дозволяють отримувати велику кількість знімків і можуть багато разів використовуватись для перезапису, відсутність спотворення зображення

при підготовці знімка до обробки на ЦФС, копіювання інформації не впливає на її якість, оперативність передачі інформації з носія цифрових даних на ЦФС та економія часу за рахунок відсутності процесів проявки і сканування аналогового знімка. Економічний аналіз експлуатації цифрових камер показує, що сумарна вартість обробки одного цифрового знімка в 2 рази менша вартості обробки аналогового (фотографічного). Великий об'єм пристроїв збереження дає можливість виконувати цифрову зйомку з більшою кількістю знімків, в результаті чого одна точка об'єкта може попадати не на 3, як в класичній фотограмметрії, а на більше число зображень. За рахунок великої кількості зображень точність і надійність фотограмметричної обробки підвищується, а трудоемність автоматичної обробки в ЦФС не збільшується. При використанні цифрових знімків автоматичні виміри з'єднувальних і опорних точок виконуються з більшою точністю і вірогідністю в порівнянні з вимірами, проведеними для відсканованих зображень.

Великі розміри дисплея камери (діагональ 2,5–3 дюйми) дозволяють при наземній зйомці достатньо надійно контролювати напрямки зйомки. Розмір матриці в сучасній цифровій апаратурі наближається до дюйма, число пікселів в ній більше 10 мільйонів, а сам піксел прямує до величини 1 мкм. Все це дозволяє за допомогою навіть масової апаратури отримувати цифрові знімки, які за якістю кращі, ніж аналогові.

На ринку цифрових неметричних камер спостерігається велика кількість як професійного, так і аматорського устаткування. Основні параметри таких камер наведені в табл. 1. Такі камери мають відмінні радіометричні характеристики, але геометрія незадовільна – дисторсія об'єктивів досягає значення 500 мкм.

Таблиця 1

Технічна характеристика деяких неметричних цифрових камер

Модель Параметр	Kodak V803	Sony DSC-W90	Samsung S1050	Kodak Z650	Canon A640
Розміри ПЗЗ-матриці:					
– діагональ	1/1,8"	1/2,5"	1/1,8"	1/2,5"	1/1,8"
– ширина (мм)	7,176	5,76	7,176	5,76	7,176
– висота (мм)	5,319	4,29	5,319	4,29	5,319
Кількість мегапікселів	8,0	8,0	10,0	6,1	10,0
Максимальний розмір кадра, пікселів	3264×2448	3264×2448	3648×2736	2848×2144	3648×2736
Розмір піксела, мкм	2,19×2,17	1,76×1,75	1,97×1,94	2,02×2,00	1,97×1,94
Фокусна відстань (для 35 мм формату)	7,4-22,2 (36-108)	7,2-22 (35-105)	7,8-39 (38-190)	7,8-78 (38-380)	7,2-28,7 (35-140)
Світлочутливість ISO	80-1600	100-3200	50-1600	80-800	80-800
Діапазон витримки, с	8-1/1448	1-1/1600	15-1/2000	16-1/1700	15-1/2500
Діагональ дисплея, см	6,35	6,35	7,62	5,08	6,35
Живлення	Li-Ion	Li-Ion	2AA	2AA	4AA

Під радіометричними характеристиками розуміють здатність цифрової камери чітко, контрастно, яскраво зафіксувати зображення на знімку. Якщо якість знімка погана, то це неминуче відіб'ється на точності фотограмметричних вимірів, а значить і на точності визначення координат чи розмірів об'єкта. Цифрові камери для фотограмметричних робіт є тим кращими, чим більше елементів містить в собі матриця. Це зумовлено основним принципом визначення ідентичності точок двох і більше зображень, а саме – точки, оптична щільність яких найбільш корельована, є ідентичними [3]. Відповідно із збільшенням роздільної здатності цифрової камери збільшується і точність визначення ідентичності точок.

Геометрична характеристика камери, тобто здатність відтворювати геометрію об'єкта, для фотограмметрії є дуже важливою, оскільки обчислення розмірів чи положення реального об'єкта здійснюється на основі вимірів його зображення на знімках. Якщо зображення спотворене, то й отримані розміри об'єкта не відповідатимуть дійсності. До чинників, які впливають на відхилення реального положення точки на знімку від ідеального, належать: рефракція атмосфери, дисторсія оптичної системи, зміна розмірів цифрової камери через коливання температури.

Найбільше на геометрію об'єкта впливає дисторсія об'єктива, яка спричинена похибками виготовлення оптичних компонентів та монтажем їх у цілісну систему. Наявність дисторсії призводить до викривлення прямих ліній, які не проходять через оптичну вісь лінзи, в результаті чого порушується подібність між об'єктом і його зображенням. Якщо квадратний предмет (рис. 1, а) на знімку має увігнуті сторони (у вигляді подушки), тобто лінійне збільшення росте по мірі віддалення від оптичної осі до країв поля зору, – це позитивна дисторсія (рис. 1, а); якщо зображення квадрата має випуклі сторони (у

вигляді бочки), то це негативна дисторсія (рис. 1, б) [3, 12]. При мінімальній фокусній відстані ($f = 36$ мм) і розташуванні діафрагми перед лінзою достатньо сильно проявляється бочкоподібна дисторсія, а при максимальній фокусній відстані ($f = 432$ мм) і положенні діафрагми позаду лінзи помітна подушкоподібна дисторсія.

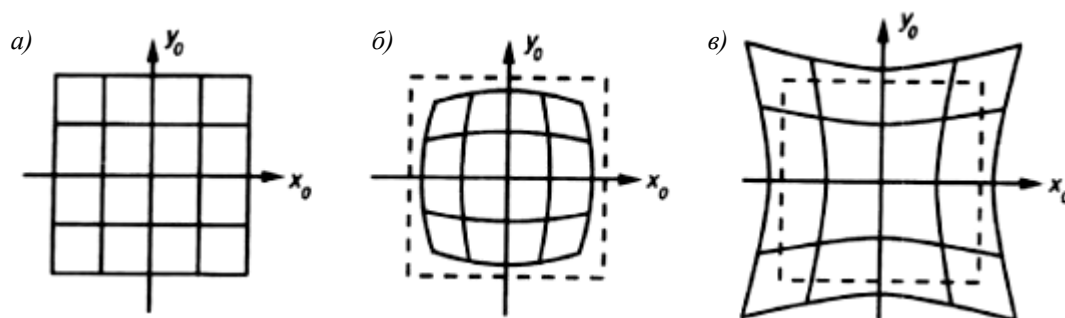


Рис. 1. Види дисторсії оптичної системи:
а – нульова; б – позитивна; в – негативна

Розрізняють радіальну і тангенціальну дисторсію (рис. 2). Промінь, який входить в оптичну систему під кутом ω_u , виходить з неї під іншим кутом ω , і замість точки a_u в реальності маємо точку a . Зміщення aa_u називають радіальною дисторсією, а зміщення точки a в положення a_t в напрямку, перпендикулярному до радіуса Oa , – тангенціальною дисторсією. Остання є на порядок меншою від радіальної [3].

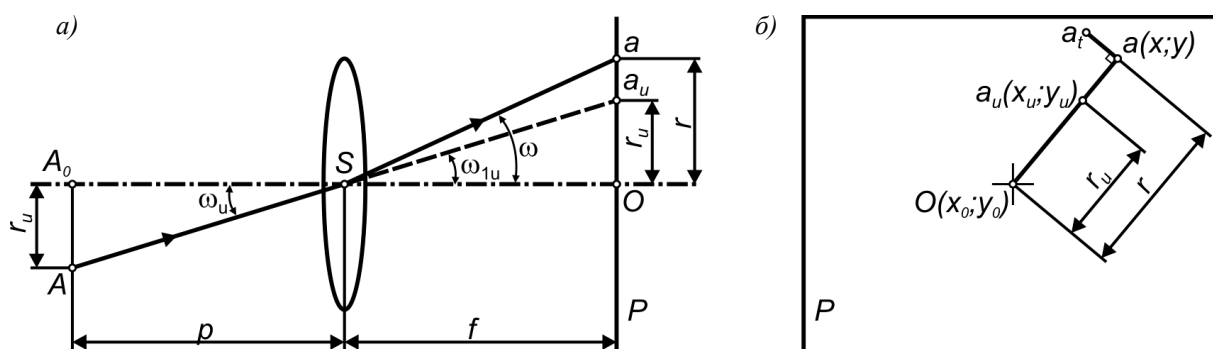


Рис. 2. Схема утворення дисторсії:
а – радіальної (aa_u); б – тангенціальної (aa_t)

Абсолютна радіальна дисторсія визначається різницею між координатами точки (x_u, y_u) ідеального зображення і координатами (x, y) цієї ж точки реального зображення [13, 14]:

$$\Delta x = x_u - x, \quad \Delta y = y_u - y. \tag{1}$$

Оптична система проектує об'єкт r_u (рис. 2, а) в площину зображення з величиною r . Відношення цих відрізків є лінійним збільшенням β [11]:

$$\beta = \frac{r}{r_u} = \frac{f \operatorname{tg} \omega}{p \operatorname{tg} \omega_u} = \operatorname{const}. \tag{2}$$

Умова постійності лінійного збільшення по полю зображення є умовою ортоскопії, порушення якої й спричиняє дисторсію. В реальних оптичних системах їх лінійне збільшення, яке визначається формулою (2), не залишається постійним для різних точок зображення з наступних причин: має місце сферична аберація в лінзах системи і не зберігається постійним кутове збільшення. Значення радіальної дисторсії оптичної системи обчислюють за формулою визначення сферичних аберацій вищого порядку [7, 9, 10, 13]:

$$\Delta r_r = r_u - r = \sum_{n=1}^{\infty} K_n r^{2n+1} = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots + K_n r^{2n+1}, \tag{3}$$

$$r^2 = x^2 + y^2,$$

де r_u, r – відстань між точкою з координатами (x, y) і головною точкою (x_0, y_0) відповідно ідеального (без дисторсії) і реального (з дисторсією) зображення (рис. 2, а);

K_n – коефіцієнти радіальної дисторсії n -го порядку.

Для характеристики радіальної дисторсії достатньо визначити коефіцієнти першого K_1 і другого K_2 порядків. В деяких випадках додатково визначають коефіцієнт третього порядку K_3 . Радіальна дисторсія, з врахуванням коефіцієнтів K_1 і K_2 , у плоскій координатній системі знімка Oxy буде дорівнювати:

$$\begin{cases} \Delta x_r = x \sum_{n=1}^{\infty} K_n r^{2n} = x(K_1 r^2 + K_2 r^4), \\ \Delta y_r = y \sum_{n=1}^{\infty} K_n r^{2n} = y(K_1 r^2 + K_2 r^4). \end{cases} \quad (4)$$

Тангенціальна дисторсія визначається з нижченаведених виразів [7, 10]:

$$\begin{cases} \Delta x_t = [P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy][1 + \sum_{n=1}^{\infty} P_{n+2}r^{2n}], \\ \Delta y_t = [2P_1xy + P_2(r^2 + 2y^2)][1 + \sum_{n=1}^{\infty} P_{n+2}r^{2n}], \end{cases} \quad (5)$$

де P_1, P_2, P_n – коефіцієнти тангенціальної дисторсії.

Отже, загальні поправки координат точок знімка, пов'язані із дисторсією об'єктива цифрової неметричної камери з врахуванням коефіцієнтів K_1, K_2, P_1 і P_2 , складають:

$$\begin{cases} \Delta x = \Delta x_r + \Delta x_t = x(K_1 r^2 + K_2 r^4) + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy, \\ \Delta y = \Delta y_r + \Delta y_t = y(K_1 r^2 + K_2 r^4) + 2P_1xy + P_2(r^2 + 2y^2). \end{cases} \quad (6)$$

У випадку, коли центр дисторсії або координати головної точки (x_0, y_0) не співпадають з центром зображення (x_c, y_c) , формула (6) матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \Delta x = \Delta x_0 + x_d \left(\frac{\Delta f}{f_0} + K_1 r_d^2 + K_2 r_d^4 \right) + P_1(r_d^2 + 2x_d^2) + 2P_2x_d y_d, \\ \Delta y = \Delta y_0 + y_d \left(\frac{\Delta f}{f_0} + K_1 r_d^2 + K_2 r_d^4 \right) + 2P_1x_d y_d + P_2(r_d^2 + 2y_d^2), \end{cases} \quad (7)$$

$$r_d^2 = x_d^2 + y_d^2 = (x - \Delta x_0)^2 + (y - \Delta y_0)^2, \quad (8)$$

де $\Delta x_0, \Delta y_0$ – різниця між координатами головної точки і центром зображення;

Δf – різниця між відкаліброваною f і номінальною f_0 фокусними відстанями.

Як видно з формул (6) і (7), для визначення дисторсії необхідно знати просторові координати точок об'єкта та координати цих точок на знімку. Змоделюємо сучасну проєктивну фотограмметричну модель цифрової камери, яка включає в себе чотири системи координат (рис. 3):

- 1) зовнішню (просторову) $(OXYZ)_w$ – система координат об'єкта фотографування;
- 2) внутрішню (камерну) $SXYZ$ – система координат об'єктива цифрової камери;
- 3) плоску xOy – система координат матриці камери, початком якої є центр матриці;
- 4) піксельну uov – система координат цифрового зображення в пікселях.

Розглянемо геометричний зв'язок та механізм трансформування між цими системами, які в повній мірі характеризують проєктивну модель камери.

Цифровий знімок являє собою сукупність елементів (пікселів), які утворюють матрицю розміром $D_x \times D_y$. Положення кожного пікселя в матриці визначається номером рядка i та номером стовпця j , а центру кожного пікселя відповідає число, що виражає середнє за площиною інтегральне значення оптичної щільності пікселя. Цифровий знімок як центральна проєкція визначається елементами внутрішнього орієнтування (f, x_0, y_0) , а його положення в просторі фіксується елементами зовнішнього орієнтування $(X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \kappa)$.

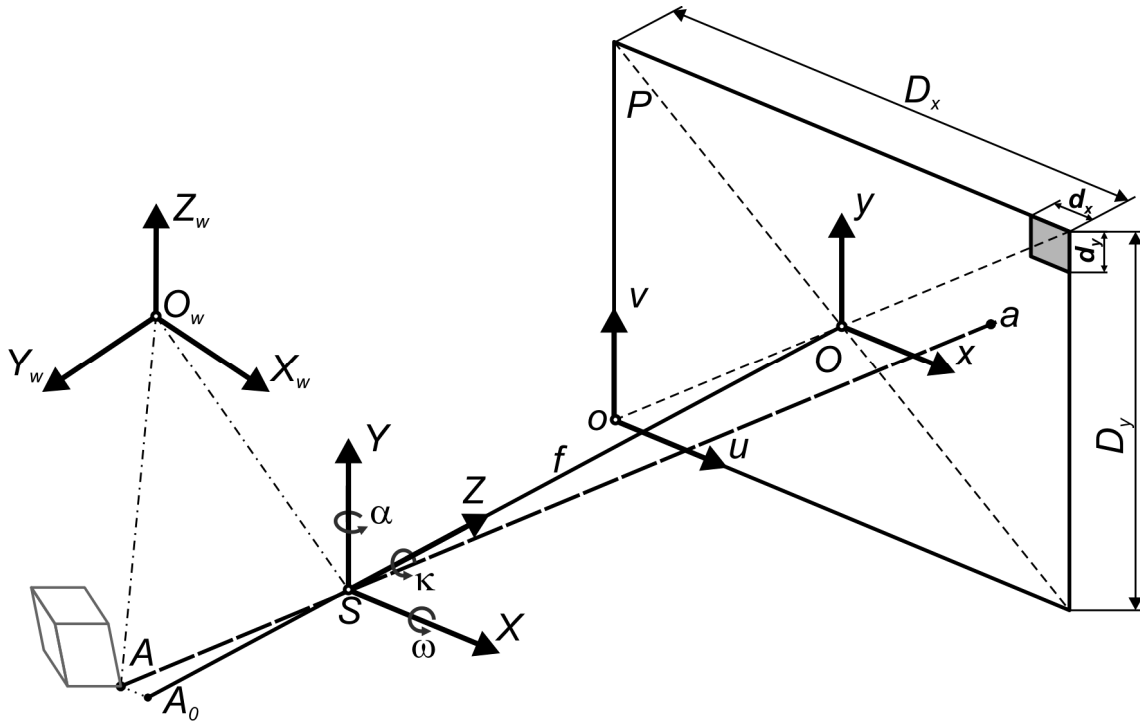


Рис. 3. Проективно-геометрична модель цифрової камери:
 SO – головна оптична вісь; $f = SO$ – фокусна відстань камери; $t. S$ – центр проєкції;
 $t. O$ – головна (принципова) точка знімка; P – площина знімка;
 α, ω, κ – кути повороту внутрішньої системи координат відносно зовнішньої

Елементами внутрішнього орієнтування (ЕВО) є координати головної точки (x_0, y_0) і фокусна відстань f , які одночасно визначають положення центра проєкції (центра фотографування, центра об'єктива) S відносно площини знімка P (рис. 3). Головна точка знімка O отримується як перетин площини знімка P з перпендикуляром, опущеним з центра проєкції S на цю площину [5]. Головна точка O у внутрішній системі координат $SXYZ$ матиме координати $X_S = Y_S = x_0 = y_0 = 0, Z = f$, а в системі координат $uov - (u_0, v_0)$.

Переведення піксельних координат точок знімка (u, v) у плоскі координати (x, y) , з метою одержання реальних (з дисторсією) координат у плоскій системі xOy , здійснюють за наступними формулами [8]:

$$\begin{aligned} x &= (u - u_0)d_x = \frac{(u - u_0)D_x}{N_x}, \\ y &= (v - v_0)d_y = \frac{(v - v_0)D_y}{N_y}, \end{aligned} \tag{9}$$

де u_0, v_0 – координати головної точки або центра зображення пікселів;

d_x, d_y – відстань між центрами пікселів або їх розміри по довжині і висоті матриці, мм;

D_x, D_y – розміри ПЗЗ-матриці, мм;

N_x, N_y – роздільна здатність ПЗЗ-матриці, пікселів.

Зовнішня просторова система координат $(OXYZ)_w$ може збігатися з фотограмметричною або з державною геодезичною системою координат. Вона характеризується елементами зовнішнього орієнтування (ЕЗО), а саме просторовими координатами центра проєкції X_S, Y_S, Z_S та трьома кутами Ейлера α (поздовжній кут нахилу), ω (поперечний кут нахилу), κ (кут повороту). Кутові елементи зовнішнього орієнтування описуються напрямними косинусами a_i, b_i, c_i [3, 5], які записуються у вигляді ортогональної поворотної матриці R :

$$R = R_x(\omega)R_y(\alpha)R_z(\kappa) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega \\ b_1 &= \cos \omega \sin \kappa \\ b_2 &= \cos \omega \cos \kappa \\ b_3 &= -\sin \omega \\ c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa \\ c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa \\ c_3 &= \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \quad (10)$$

Переведення просторових координат точок об'єкта (X_w, Y_w, Z_w) у внутрішні координати камери (X_u, Y_u, Z_u) , з метою одержання ідеальних (без дисторсії) координат у внутрішній системі, включає дві операції [3]: паралельне перенесення початку координат з точки O_w в точку S та поворот системи $SXYZ$ за допомогою оберненої матриці напрямних косинусів R :

$$\begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} = R^{-1} \begin{bmatrix} X_w - X_S \\ Y_w - Y_S \\ Z_w - Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_w - X_S \\ Y_w - Y_S \\ Z_w - Z_S \end{bmatrix}. \quad (11)$$

В лінійній формі формула (11) матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} X_u &= a_1(X_w - X_S) + b_1(Y_w - Y_S) + c_1(Z_w - Z_S), \\ Y_u &= a_2(X_w - X_S) + b_2(Y_w - Y_S) + c_2(Z_w - Z_S), \\ Z_u &= a_3(X_w - X_S) + b_3(Y_w - Y_S) + c_3(Z_w - Z_S). \end{aligned} \quad (12)$$

Переведення внутрішніх координат камери (X_u, Y_u, Z_u) у плоскі координати знімка (x_u, y_u) виконують на основі геометрії побудови зображення та пропорційності відрізків AS і Sa , точки яких мають відповідні координати у системах $SXYZ$ та XOY :

$$\frac{X_u}{x_u - x_0} = \frac{Y_u}{y_u - y_0} = \frac{-Z_u}{f}. \quad (13)$$

З формули (13) маємо:

$$\begin{cases} x_u - x_0 = -f \frac{X_u}{Z_u}, \\ y_u - y_0 = -f \frac{Y_u}{Z_u}. \end{cases} \quad (14)$$

З врахуванням (12) отримаємо рівняння колінеарності [1, 2, 3]:

$$\begin{cases} x_u - x_0 = -f \frac{a_1(X_w - X_S) + b_1(Y_w - Y_S) + c_1(Z_w - Z_S)}{a_3(X_w - X_S) + b_3(Y_w - Y_S) + c_3(Z_w - Z_S)}, \\ y_u - y_0 = -f \frac{a_2(X_w - X_S) + b_2(Y_w - Y_S) + c_2(Z_w - Z_S)}{a_3(X_w - X_S) + b_3(Y_w - Y_S) + c_3(Z_w - Z_S)}. \end{cases} \quad (15)$$

Зведемо формули (6) і (15) у (1) та остаточно отримаємо залежності між дисторсійними поправками $(\Delta x, \Delta y)$ координат точок знімка, координатами (x_w, y_w) ідеального та (x, y) реального зображень:

$$\begin{cases} x - x_0 + \Delta x = -f \frac{a_1(X_w - X_S) + b_1(Y_w - Y_S) + c_1(Z_w - Z_S)}{a_3(X_w - X_S) + b_3(Y_w - Y_S) + c_3(Z_w - Z_S)}, \\ y - y_0 + \Delta y = -f \frac{a_2(X_w - X_S) + b_2(Y_w - Y_S) + c_2(Z_w - Z_S)}{a_3(X_w - X_S) + b_3(Y_w - Y_S) + c_3(Z_w - Z_S)}. \end{cases} \quad (16)$$

Рівняння (16) є розширеним рівнянням колінеарності.

Рівняння колінеарності можна представити у матричній формі, в основі якого лежить евклідове перетворення із просторової системи координат у систему координат камери:

$$x = KR[I | -\vec{t}]X_w,$$

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & x_0 \\ 0 & f_y & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \vec{t} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}, \quad (17)$$

де K – калібрувальна матриця (матриця внутрішніх параметрів камери);

R – поворотна матриця (матриця напрямних косинусів);

I – проєктуюча матриця (матриця центральної проєкції);

\vec{t} – вектор зміщення.

Узагальнивши вищенаведені методи переходу від однієї до іншої систем координат, складемо схему трансформування просторових координат об'єкта у плоскі координати знімка, яка наведена на рис. 4.

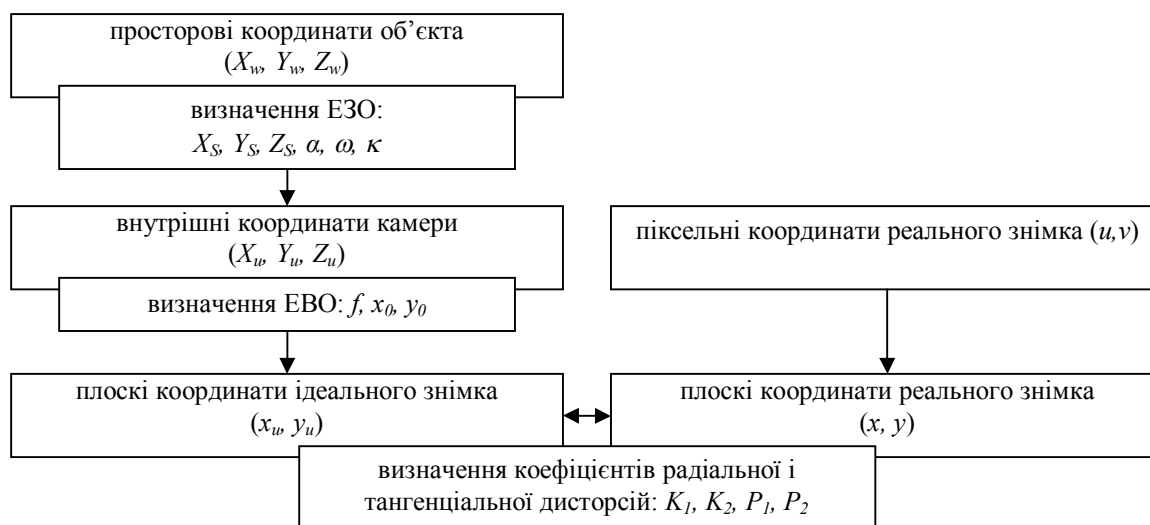


Рис. 4. Методика трансформування просторових координат об'єкта у плоскі координати знімка

Висновки. Аналіз технічних характеристик, радіометричних та геометричних параметрів сучасних цифрових фотокамер показав можливість їх впровадження у фотограмметрію як інструменту для виконання фотограмметричної зйомки і маркшейдерського забезпечення гірничих підприємств, зокрема кар'єрів декоративного каменю.

Використання знімків, отриманих неметричними цифровими камерами, можливе за умови врахування дисторсії оптичних систем. Вплив останньої компенсується дисторсійними поправками, які обов'язково повинні враховуватись при перетворенні реальних координат знімка в ідеальні. Застосування отриманої методики трансформування координат дозволяє об'єктивно визначити геометричні параметри об'єктів дослідження (товарних блоків, монолітів природного каменю, бортів кар'єру та інших об'єктів) на основі цифрових знімків та подальшої їх обробки відповідними засобами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лобанов А.Н. Фототопография. Наземная стереофотограмметрическая съемка. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М., Недра, 1983. – 224 с.
2. Бобир Н.Я., Лобанов А.Н., Федорук Г.Д. Фотограмметрия. – М., Недра, 1974. – 472 с.
3. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 214 с.
4. Глотов В.М. Особливості визначення фокусної відстані цифрових фототеодолітних камер // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – № 63. – 2003. – С. 122–127.
5. Кордуба Ю.Г., Смірнов Є.І. Фотограмметрія: Навчальний посібник. – К.: МАПУ, 2007. – 256 с.
6. Могильный С.Г., Беликов И.Л., Ахонина Л.И. Фотограмметрия. – К.: Вища школа, 1985. – 278 с.
7. Brown D.C. Close-Range Camera Calibration // Photogrammetric Engineering, Vol. 37, № 8, 1971. – Pp. 855–866.

8. *Tsai R.Y.* A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses // IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol 3, № 4, August, 1987. – Pp. 323–344.
9. *Remondino F., Fraser C.S.* Digital camera calibration methods: considerations and comparisons // ISPRS Commission V Symposium “Image Engineering and Vision Metrology”, Vol. 36, Part 5, Dresden, 2006. – Pp. 266–272.
10. *Matsuoka R., Sudo N., Yokotsuka H., Sone M.* Experiment on parameter selection of image distortion model // ISPRS Commission V Symposium “Image Engineering and Vision Metrology”, Vol. 36, Part 5, Dresden, 2006. – Pp. 195–200.
11. *Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П.* Теория оптических систем: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1973. – 488 с.
12. *Бутиков Е.И.* Оптика: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.
13. *Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.Н.* Теория оптических систем: Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.
14. *Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т.* Оптические измерения: Учебник для вузов по специальностям «Оптико-электронные приборы» и «Технология оптического приборостроения». – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
15. *Пресс Ф.П.* Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.

ЛЕВИЦЬКИЙ Володимир Григорович – аспірант кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– маркшейдерська справа;

– фізичні процеси видобування і обробки природного каменю.

Подано 15.01.2008

Левицький В.Г. Удосконалення методики аналітичної обробки знімків, отриманих неметричними цифровими камерами при виконанні фотограмметричної зйомки

Левицький В.Г. Усовершенствование методики аналитической обработки снимков, полученных неметрическими цифровыми камерами при выполнении фотограмметрической съемки

Levitskiy V.G. Improvement of a technique of analytical processing of the pictures received by nonmetric digital cameras at performance of the photogrammetric survey

УДК 528.71+528.72

Усовершенствование методики аналитической обработки снимков, полученных неметрическими цифровыми камерами при выполнении фотограмметрической съемки / В.Г. Левицький // Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2008. – № 1 (44). – С.100-105: ил.4. – Табл.1. – Библиогр.: 15 назв.

Выполнен сравнительный анализ существующих цифровых фотокамер, проанализированное влияние дисторсии оптической системы на геометрию цифровых снимков и приведенные основные зависимости для определения дисторсии и трансформирование координат точек снимков между разными координатными системами проэктивно-геометрической модели цифровой камеры.

УДК 528.71+528.72

Improvement of a technique of analytical processing of the pictures received by nonmetric digital cameras at performance of the photogrammetric survey / V.G. Levitskiy // Вісник ЖДТУ / Технічні науки – 2008. – № 1 (44). – P.100-105: ill.4. – Table.1. – Refs.: 15 titles.

The comparative analysis of the existent digital cameras is executed, analysed influence of the distortion of optical system on geometry of digital pictures and resulted basic dependences for determination of the distortion and transformation of coordinates of points of pictures between different coordinate systems of perspective projection model of digital camera.