

УДК 623.618

С.А. Олізаренко, О.Ю. Лавров

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ З ПЕРЕРАХУНКУ ПІКСЕЛЬНИХ КООРДИНАТ ПРОСТОГО ОБ'ЄКТА ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ НА ЦИФРОВОМУ АЕРОФОТОЗНІМКУ В ГЕОДЕЗИЧНІ КООРДИНАТИ

В статті з метою визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки при їх виявленні та класифікації на цифровому аерофотознімку розроблені пропозиції з перерахунку піксельних координат простого об'єкта на знімку в геодезичні координати WGS 84.

Ключові слова: простий об'єкт, повітряна розвідка, виявлення, класифікація, піксельні координати, геодезичні координати, цифровий аерофотознімок.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з важливих етапів дешифрування аерофотознімків, отриманих за результатами повітряної розвідки, є етап визначення координат простих об'єктів повітряної розвідки за результатами їх виявлення та класифікації на отриманому знімку. На даний час процедури визначення координат в існуючих вітчизняних комплексах обробки даних повітряної розвідки не відповідають вимогам щодо оперативності та точності визначення координат простих об'єктів. При цьому визначення координат виконуються за результатами доставки та обробки аерофотоплівок без врахування сучасних тенденцій використання цифрових аерофотознімків з використанням піксельних координат об'єкта. Безпосередньо при визначенні координат необхідно виявити так звані три опорні точки з прив'язкою аерофотознімка до карти і з пошуком опорних точок в прямокутній системі координат [1]. Прив'язка при цьому виконується візуальним способом і координати опорних точок та простих об'єктів вводяться вручну, що в свою чергу значно впливає на оперативність та точність визначення координат. Автоматично виконується тільки розрахунок прямокутних координат об'єкта розвідки. Таким чином на даний час в вітчизняних комплексах обробки даних повітряної розвідки відсутні процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати, що в свою чергу визначає актуальність розробки нових пропозицій щодо визначення координат простих об'єктів з урахуванням вимог до точності та оперативності їх визначення.

Аналіз літератури. На даний час найбільш ефективні підходи щодо визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки за результатами обробки цифрових аерофотознімків реалізовані в комплексах обробки даних повітряної розвідки країн НАТО.

Так, приклад роботи процедури перерахунку піксельних координат на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84 реалізовано в спеціалізованому програмному забезпеченні SENS RB Conversion Tool [2]. При цьому отримана координатна інформація доповнюється зображеннями виділених областей зображення земної поверхні знятих знімальною системою літального апарату і приводиться до формату даних NITF 02.1, який є уніфікованим, наприклад, для всіх безпілотних авіаційних комплектів країн НАТО. Відповідна стаття є дослідженням передового досвіду з питань визначення місцезнаходження (координат) простих об'єктів повітряної розвідки за результатами обробки цифрових аерофотознімків з подальшою розробкою процедури автоматизованого перерахунку піксельних координат на цифровому знімку в геодезичні координати.

Метою статті є розробка пропозицій з перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати для подальшої автоматизації відповідного процесу за результатами виявлення та класифікації простих об'єктів на цифрових аерофотознімках.

Основна частина

Дані від систем позиціонування (IMU/GPS), необхідні для перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки (ПР) на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати, включають:

- геодезичні координати літального апарату (широта, довгота, висота на рівнем моря);
- кути, які описують положення літального апарату в повітрі (курсу, тангажу, ролання);
- лінійні швидкості по осям;
- лінійні прискорення по осям;
- кутові швидкості по осям;
- прискорення кутових швидкостей по осям;

дані калібрування положення літального апарату та оптико-електронного обладнання;

прямокутні координати положення платформи на якій встановлено оптико-електронне обладнання відносно центра мас літального апарату;

кути, які описують положення платформи на якій встановлено оптико-електронне обладнання відносно центра мас літального апарату.

Сутність процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта ПР на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84 складається з поетапного перетворення систем координат, що в графічному вигляді представлено на рис. 1 [3].

Першим етапом перерахунку координат є перетворення геодезичних координат літального апарату у просторові прямокутні координати відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_E + h_{uav}) \cos \phi_{uav} \cos \lambda_{uav} \\ (N_E + h_{uav}) \cos \phi_{uav} \sin \lambda_{uav} \\ (N_E \cdot (1 - e^2) + h) \cdot \sin \phi_{uav} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де X_E, Y_E, Z_E – просторові прямокутні координати літального апарату, $h_{uav}, \phi_{uav}, \lambda_{uav}$ – геодезичні координати літального апарату, N_E – радіус кривизни першого вертикалу, який обчислюється таким чином:

$$N_E = \frac{a_E}{\sqrt{1 - e_E^2 \cdot \sin^2 \phi_{uav}}}, \quad (2)$$

де a_E – радіус геоїда на екваторі, який становить 6378136 метрів, e_E – перший ексцентриситет меридіанного еліпса, який становить 0,006694379989 метрів [4].

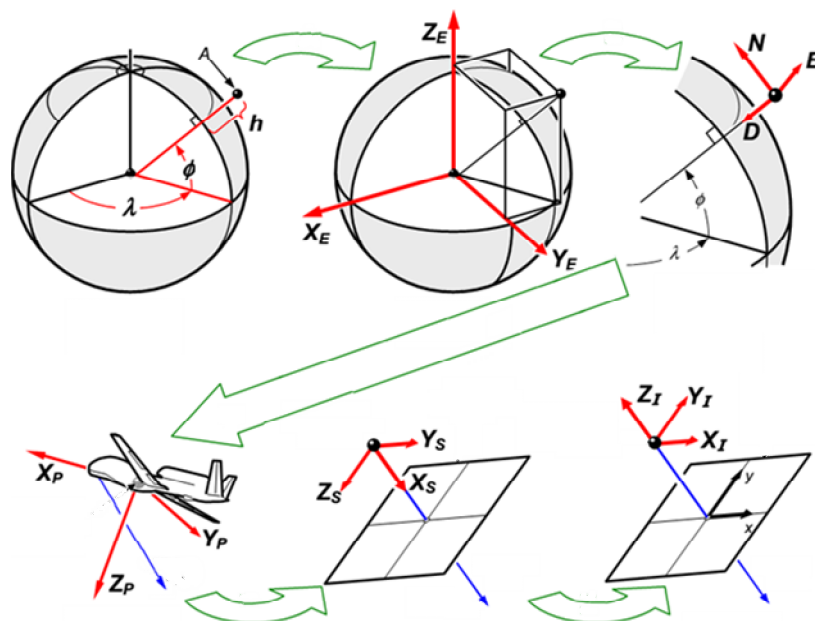


Рис. 1. Візуалізація основних етапів процедури перерахунку піксельних координат простого об'єкта ПР на цифровому знімку в геодезичні координати WGS 84

На наступному етапі просторова прямокутна система координат літального апарату перетворю-

ється в систему координат NED (North-East-Down) відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A = M_E^{LE} \left(\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - A_E \right) = \begin{bmatrix} -\sin \phi_A & 0 & \cos \phi_A \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos \phi_A & 0 & -\sin \phi_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \lambda_A & \sin \lambda_A & 0 \\ -\sin \lambda_A & \cos \lambda_A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{EA} \\ Y_{EA} \\ Z_{EA} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де M_E^{LE} – матриця повороту з просторової прямокутної системи координат у локальну NED систему координат, A_E – вектор координат точки A в просторовій прямокутній системі координат, ϕ_A та λ_A –

геодезичні координати точки A . На третьому етапі здійснюється перерахунок з системи координат NED в систему координат платформи літального апарату відповідно до такого виразу:

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_A = M_{LA}^P \begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_P & \sin \phi_P \\ 0 & -\sin \phi_P & \cos \phi_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_P & 0 & -\sin \theta_P \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_P & 0 & \cos \theta_P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \psi_P & \sin \psi_P & 0 \\ -\sin \psi_P & \cos \psi_P & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{uav} \\ e_{uav} \\ d_{uav} \end{bmatrix}_A, \quad (4)$$

де M_{LA}^P – матриця повороту з NED системи координат у в систему координат платформи літального апарату, ϕ_P, θ_P, ψ_P – крен, тангаж, курс платформи літального апарату відповідно.

На четвертому етапі здійснюється перехід від системи координат платформи літального апарату до системи координат оптико-електронного обладнання літального апарату відповідно до такого виразу

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = M_P^S \left(\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix}_A - \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right) \quad (5)$$

де $\Delta_X, \Delta_Y, \Delta_Z$ – різниця між координатами прийомного пристрою систем позиціонування (IMU/GPS) та оптико-електронного обладнання в системі координат літального апарату, M_P^S – матриця повороту.

В залежності від виду підвісу оптико-електронного обладнання (рис. 2) матриця повороту на п'ятому етапі M_P^S приймає вигляд для підвісу типу (а) відповідно до виразу

$$M_P^S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_s & \sin \phi_s \\ 0 & -\sin \phi_s & \cos \phi_s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_s & 0 & -\sin \theta_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_s & 0 & \cos \theta_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \psi_s & \sin \psi_s & 0 \\ -\sin \psi_s & \cos \psi_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

для підвісу типу (б) відповідно до виразу [5]:

$$M_P^S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_s & \sin \psi_s \\ 0 & -\sin \psi_s & \cos \psi_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_s & 0 & -\sin \theta_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_s & 0 & \cos \theta_s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi_s & -\sin \phi_s & 0 \\ \sin \phi_s & \cos \phi_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де ϕ_s, θ_s, ψ_s – кути поворотів (1), (2), (3) підвісу оптико-електронного літального апарату відповідно.

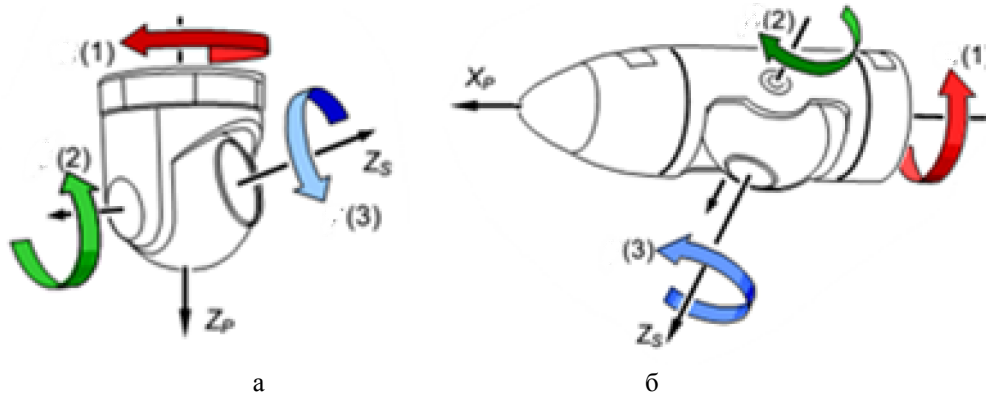


Рис. 2. Види підвісу оптико-електронного літального апарату

На шостому етапі здійснюється перехід від системи координат оптико-електронного обладнання літального апарату до системи координат кадру відповідно до виразу

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = M_S^I \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ \\ 0 & \sin 90^\circ & \cos 90^\circ \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & \sin 90^\circ & 0 \\ -\sin 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}. \quad (8)$$

де X_I, Y_I, Z_I – координати центра кадру в системі координат оптико-електронного обладнання літального апарату.

На сьомому етапі координати центра кадру в системі координат оптико-електронного обладнання літального апарату знаходяться за виразом

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = M_S^I \cdot M_P^S \left(M_{LA}^P \cdot M_E^{LA} \left(\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} - A_E \right) - \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right). \quad (9)$$

Виразивши змінні X_E, Y_E, Z_E з використанням виразу (9) отримуються координати центра кадру в просторовій прямокутній системі координати відповідно до виразу

$$\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} = M_E^{L_A T} \cdot M_{L_A}^P T \times \left(M_P^{S T} \cdot M_S^{I T} \cdot \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \end{bmatrix} \right) + A_E. \quad (10)$$

Координати X_E, Y_E, Z_E можуть бути переведені в геодезичні, для цього достатньо відповідно до виразу (1) виразити змінні h, ϕ, λ – геодезичні координати центра кадру.

Якщо об'єкт знаходиться не в центрі кадру, то застосовуються перетворення описані в стандарті [6].

Висновки

Таким чином отримані координати центру об'єкта в кадрі $X_{px}^{class}, Y_{px}^{class}$ за результатами його виявлення та класифікації на цифрову аерофотознімку, наприклад з використанням згорткових нейронних мереж, можуть бути перераховані у геодезичні координати WGS 84 або просторові прямокутні координати для видачі споживачу даних повітряної розвідки.

Безпосередньо визначені основні етапи перерахунку піксельних координат простого об'єкта повітряної розвідки на цифровому аерофотознімку в геодезичні координати є основою для розробки відповідної процедури з для подальшою автоматизацією даного процесу.

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПЕРЕРАСЧЕТУ ПИКСЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ ПРОСТОГО ОБЪЕКТА ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ НА ЦИФРОВОМ АЭРОФОТОСНИМКЕ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

С.А. Олизаренко, О.Ю. Лавров

В статье с целью определения местонахождения (координат) простых объектов воздушной разведки при их выявлении и классификации на цифровом аэрофотоснимке разработаны предложения по перерасчету пиксельных координат простого объекта на снимке в геодезические координаты WGS 84.

Ключевые слова: простой объект, воздушная разведка, выявление, классификация, пиксельные координаты, геодезические координаты, цифровой аэрофотоснимок.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR RECALCULATION OF PIXEL COORDINATES OF A SIMPLE OBJECT AERIAL RECONNAISSANCE ON DIGITAL AERIAL IMAGES IN GEODETIC COORDINATES

S.A. Olizarenko, O.Yu. Lavrov

In the article in order to determine the location (coordinates) of simple objects of aerial reconnaissance during their identification and classification on a digital aerial photograph developed proposals for transfer is a simple pixel coordinates of the object in the picture in geodetic coordinates WGS 84.

Keywords: simple object, aerial reconnaissance, identification, classification, pixel coordinates, geodetic coordinates, digital aerial images.

Список літератури

1. *Война : первые уроки // DEFENSE EXPRESS – 2014. – № 12. – С. 10-11.*
2. *SENSRB: SENSRB Conversion Tool Version: 2.1.4 [Електронний ресурс] // Reference Library for NITFS User Documents, Software, Imagery, and Tools – 2013. – Режим доступу: <http://www.gwg.nga.mil/ntb/baseline/software/downloads/SENSRB%20V2.1.4%20Delivery.zip>.*
3. *STDI-0002, National Imagery and Mapping Agency, "The Compendium of Controlled Extensions (CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF)", SENSRB Support Data Extension.*
4. *Шаульський Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «ГЕОДЕЗІЯ» (для студентів 3 курсу заочної форми навчання, напряму підготовки 6.080101 Геодезія, картографія та землеустрії) / Д.В. Шаульський. – Х.: ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2015. – 35 с.*
5. *General Electro-Optical (Visible, Infrared, Multi- and Hyperspectral) Sensor Parameters (SENSRB) Tagged Record Extension (TRE) APPENDIX Z VERSION 1.0 [Електронний ресурс] // The Compendium of Controlled Extensions (CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF) – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gwg.nga.mil/ntb/baseline/docs/stdi0002/stdi0002_v30/App_Z.pdf.*
6. *Frame Sensor Model Metadata Profile Supporting Precise Geopositioning Version 2.1 [Електронний ресурс] NGA STANDARDIZATION DOCUMENT – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gwg.nga.mil/documents/csmwg/documents/Frame_Formulation_Paper_Version_2.1_July2011.pdf.*

Надійшла до редколегії 13.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.