

КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

УДК 528.72

О. Л. ДОРОЖИНСЬКИЙ, І. З. КОЛЬ, Л. В. БАБІЙ, Л. В. ДИЧКО

Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. 0322-258-26-16, ел. пошта: ihor.z.kolb@nulp.edu.ua

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.015>

МЕТОД ОТРИМАННЯ ОПОРНИХ ТОЧОК ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ АЕРО- ТА КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ МІСЦЕВОСТІ

Мета. У фотограмметрії фундаментальним завданням є визначення елементів зовнішнього просторового орієнтування знімальних систем на момент отримання ними зображень. Принципово це завдання розв’язують двома шляхами. Перший шлях – пряме позиціонування та вимірювання напрямків орієнтування оптичної осі камер у геодезичному просторі з допомогою GPS/INS апаратури. Другий шлях – аналітичне розв’язання задачі за допомогою набору опорної інформації (найчастіше такою інформацією є набір опорних точок, геодезичне положення яких відоме з достатньою точністю і які надійно зчитуються на аерознімках фотограмметричного блоку). Автори розглядають завдання забезпечення опорною і контрольною інформацією саме другого підходу, який має низку переваг щодо надійності та точності визначення шуканих параметрів орієнтування знімків. Отримувати зображення опорних точок пропонують за методом додаткового їх аерознімання з допомогою БПЛА в більшому масштабі порівняно із масштабом знімків фотограмметричного блоку. Мета цього дослідження – реалізувати метод створення опорних точок та експериментально підтвердити його ефективність для фотограмметричних опрацювань. **Методика та результати роботи.** Для повної реалізації потенціалу аналітичного шляху визначення елементів зовнішнього орієнтування знімків необхідна наявність певної кількості опорних точок та дотримання визначеної схеми їхнього розміщення в охопленні фотограмметричного блоку знімків чи космічного знімка. Як джерело опорної інформації автори виокремлюють аерознімки місцевості, які отримані автономно від основного знімання (наприклад, з квадрокоптера), мають краще геометричне розрізнення і на яких зображено опорні точки. З таких допоміжних знімків є можливість автоматизовано перенести зображення опорних точок на знімки основного фотограмметричного блоку. У нашому трактуванні ці зображення опорних точок та їхнього оточення на місцевості називають «опорні образи». Основою роботи є розроблення способу отримання опорних образів з допоміжних аерознімків і перенесення цих образів на основні аеро- або космічні знімки місцевості засобами комп’ютерного стереоідентифікації. Для досягнення поставленої мети ми розробили спосіб опрацювання для створення опорних образів аерознімка чи серії допоміжних різномасштабних аерознімків, отриманих дроном із різних висот над опорною точкою. Оператор опізнає точку один раз на допоміжному аерознімку найвищого розрізнення. Далі відбувається автоматичне стереоідентифікації опорного образу на всій серії допоміжних знімків послідовно із зменшенням розрізнення і в кінцевому результаті – безпосередньо на аерознімках фотограмметричного блоку. Ніяких опізнавань/наведень курсора оператором-людиною і пов’язаних із ними розбіжностей, промахів і помилок не відбувається. Крім того, вказаний метод при застосуванні достатньо великого розміру образів-еталонів можна застосовувати на малоконтурній місцевості і тому можна обійтись у багатьох випадках без фізичного маркування точок. А це шлях до спрощення і здешевлення фотограмметричної технології. Дію розробленого способу перевірено експериментально для забезпечення опорною інформацією блоку архівних аерофотознімків малоконтурної місцевості. Результати дослідної апробації запропонованого способу дають підстави стверджувати, що запропонований спосіб дає змогу ефективніше виконувати геодезичне забезпечення фотограмметричних проєктів за рахунок відмови від фізичного маркування місцевості перед аерозніманням. Запропонованим способом можна скористатись також для отримання контрольної інформації для перевірки якості фотограмметричного знімання. Автори стверджують, що застосування додаткового обладнання – БПЛА напівпрофесійного класу для отримання опорних образів є економічно обґрунтованим. **Наукова новизна та практична значущість.** Уперше викладено результати апробації методу «опорного образу» з отриманням стереопар аерознімків з вертикальним розміщенням базису знімання. Виконане дослідження властивостей таких стереопар аерознім-

ків для отримання зображень опорних точок. Показано дієвість включення опорних образів в основний блок мережі цифрової фототріангуляції для знімків, отриманих з БПЛА.

Ключові слова: геодезичне забезпечення аерокосмічних знімків, прив'язка великомасштабних аерознімків, маркування місцевості, GCP (Ground Control Points) – наземні точки прив'язки; CP (Control Points) – контрольні точки.

Вступ

Розвиток цифрових фотограмметричних технологій демонструє розширення прийомів отримання та застосування опорної інформації, яка необхідна для фіксації в геодезичному просторі знімків та в кінцевому рахунку – результатів їхнього фотограмметричного опрацювання. Як опорну інформацію, крім опорних точок, знаходять застосування й інші елементи. Насамперед йдеться про центри проєкції, просторові координати яких визначаються супутниковими методами під час аерознімання, та навігаційні кути орієнтування знімків, що їх вимірюють інерційні навігаційні системи [Колб, 2000]. Набагато меншого поширення як опорна інформація набули лінійні та кутові виміри на місцевості, зображеній на аерознімках. Прийоми поводження з такою інформацією добре відомі в аналітичній фотограмметрії і на сучасному етапі впроваджуються в обробку блоків цифрових аерознімків, отриманих із БПЛА [Gerke, & Przybilla, 2016; Stöcker, & all, 2019; Wiącek, & Pyka, 2019]. Окремо слід виділити дослідження реалізацій апаратного та програмного забезпечення таких знімків за різної конфігурації опорних даних [Przybilla, & all, 2019; Peppas, & all, 2019; Котов, 2018].

З поширенням методів комп'ютерної обробки зображень розпочали активно розроблятися методи використання в якості опорної інформації зображень, що мають геодезичну прив'язку або на яких зображено просторові об'єкти з відомими координатами. Особливо це стосується двох відносно нових напрямків – великомасштабного аерознімання з БПЛА та космічного знімання надвисокого просторового розрізнення. У більшості цих методів в якості опорних зображень пропонується застосовувати архівні ортофотоплани, матеріали фототріангуляції з попередньо виконаних знімків та цифрові плани і карти [Федоткин, 2000; Способ идентификации опорных точек..., 2019]. Для аерознімання з БПЛА таких розробок вкрай

мало. З останніх робіт виокремимо статтю [Hamidi, & Samadzadegan, 2015], в якій автори розглядають як варіант опорної інформації попередньо створену 3D-модель місцевості.

Огляд актуальних досліджень з означеного напрямку виконано в статті [Kolb, 2018]. Ми ж у своїх дослідженнях звертаємось саме до опорної точки як базового носія опорної інформації, а опорний образ – розглядаємо лише як набір даних, необхідний для застосування автоматичних (чи автоматизованих) методів надійного опізнання зображення точки на інших знімках. Обґрунтуванням для такого підходу є той факт [Колб, 2000; Stöcker, & all, 2019], що саме оптимальна кількість і якість розміщення опорних точок насамперед під час виконання аеротріангуляції великою мірою компенсує недоліки таких параметрів знімання, як неоптимальне перекриття знімків (особливо міжмаршрутне перекриття), відсутність чи неможливість застосування каркасних маршрутів та інші умови. Зрештою, можливість відкоригувати шляхом дповнення існуючих фотограмметричних знімків новою опорною інформацією є суттєвою перевагою при отриманні головної, як впливає з огляду [Wim van Wegen] мети фотограмметричного опрацювання – створити точну модель об'єкта чи місцевості.

Мета

Ідею опорного образу як носія відеоінформації, призначеної для переопізнання опорної точки в автоматизованій фотограмметричній системі сформульовано в роботі [Kolb, 2018]. Суть її зводиться до отримання шляхом додаткового аерознімання з квадрокоптера аерознімка чи серії різномасштабних аерознімків безпосередньо над опорною точкою місцевості. Як опорний образ ми розглядаємо сформоване за відомою математичною моделлю зображення об'єкта місцевості, просторове положення якого в геодезичному просторі задане із точністю, достатньою для виконання процедур фотограмметричного опрацювання знімків [Kolb, 2018].

Отримані таким чином зображення використовують для надійного та точного в геометричному сенсі опізнання зображення опорної точки на аерознімку найбільшого масштабу та автоматичного перенесення цього образу на знімки основного блоку аерознімання чи на космічний знімок. Перевірка принципової можливості та аналіз ефективності застосування в якості опорних образів отриманих із БПЛА-зображень опорних точок місцевості, геодезичні координати яких відомі, наприклад, визначені методами GPS знімання), є метою цієї статті.

Методика та результати роботи

Фотограмметричні методи побудови аеротріангуляції, створення ортофотокарт, цифрових моделей об'єкта та інших продуктів передбачають створення щільної або розрідженої мережі опорних (GCP, Ground Control Points) та контрольних точок (CP, Check Points).

У більшості технологій створення мереж опорних та контрольних точок присутні польові роботи з маркування цих точок на місцевості та проведення геодезичних робіт з метою отримання їхніх просторових геодезичних координат. Досить часто як опорні точки вибирають чіткі контури, розпізнані на аерознімках [Дорожинський, 2002].

Ці технології не позбавлені певних недоліків, до яких зарахуємо:

- неоднозначність розпізнавання точок на аерознімках;
- складність автоматизації фотограмметричних вимірювань зображень опорних/контрольних точок на багатьох знімках; помилки першого опізнання будуть повторені при роботі автокорелятора;
- практично неможливо передати в фотограмметричний проект положення опорної точки без втрати точності їхніх геодезичних координат.

Для усунення означених недоліків запропоновано проводити додаткове БПЛА-знімання й отримувати зображення, масштаб яких є більшим від масштабу основного (аеро- або ж космічного знімання). БПЛА-знімання відбувається безпосередньо над опорною точкою з отриманням серії аерознімків з різних висот, тобто з вертикальним базисом знімання.

Розглянемо випадок, коли є необхідність передати зображення опорної точки із знімків

БПЛА-знімання на аерознімки, які отримано до моменту її маркування. В такому випадку опорна точка є віртуальною і не може бути візуально ідентифікована на аерознімках. Для визначення положення такої віртуальної опорної точки на аерознімках запропоновано підхід, заснований на відомих у фотограмметрії властивостях центрального проектування і на використанні методів зіставлення особливих точок на знімках.

Зауважимо, що зображення опорної точки (називаємо його опорним зображенням, отриманим після маркування точки на місцевості і визначення її просторових геодезичних координат), за умовами отримання знімка буде розміщене в площині знімка в положенні, близькому до точки нульових спотворень [Дорожинський, 2015, стор. 21]. Властивістю цієї точки є те, що кути з вершиною в ній на знімку центральної проєкції не спотворюються і відповідають дійсним кутам на місцевості та на ортофотоплані.

Особливі точки (за ознаками яскравості) на опорному аерознімку та аерознімку, на якому потрібно визначити положення віртуальної опорної точки, визначаються методами комп'ютерного зіставлення відповідних точок (рис. 1). У термінах фотограмметрії ці точки є зв'язковими для обох знімків, а їхня кількість є різною для різних типів ландшафтів і методик комп'ютерного зіставлення. Опорна точка в загальному випадку не є особливою в цьому сенсі і не може бути автоматично зіставлена. Її положення можемо отримати розрахунковим шляхом.

Один із шляхів вирішення завдання – застосувати відоме в геодезії вирішення оберненої кутової засічки. Цей шлях є придатним у випадку, коли прив'язуване зображення є плановим або ортотрансформованим.

Нехай маємо три зв'язкові точки A, B, C координати яких на визначуваному знімку відповідно $((x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c))$. Позначимо визначувану точку буквою P ; буквою B – одну із зв'язкових точок, напрям на яку з точки P близький до осі абсцис (X); буквою A – зв'язкову точку ліворуч від точки B (якщо дивитись з точки P); буквою C – третю зв'язкову точку; буквою β – центральні кути з точки P на зв'язкові точки. Порядок розрахунків наступний [Селиханович, 1981, стор. 398]: – обчислюють дирекційний кут α_{PA} сторони PA за формулою:

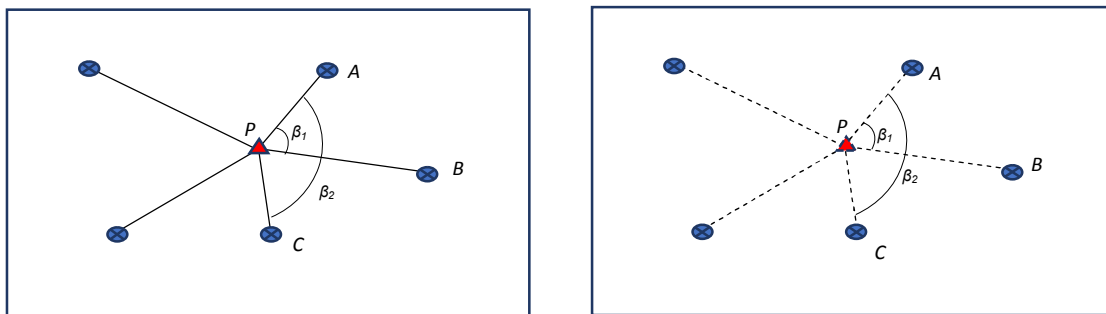


Рис. 1. Положення опорної точки та особливих точок на опорному (ліворуч) та прив'язаному (праворуч) аерознімках

$$\tan \alpha_{PA} = \frac{(Y_B - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (Y_A - Y_C) \operatorname{ctg} \beta_2 + (X_C - X_B)}{(X_B - X_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (X_A - X_C) \operatorname{ctg} \beta_2 - (Y_C - Y_B)} \quad (1)$$

– обчислюють дирекційні кути α_{PB} сторони PB та α_{PC} сторони PC за формулами:

$$\begin{aligned} \alpha_{PB} &= \alpha_{PA} + \beta_1; \\ \alpha_{PC} &= \alpha_{PA} + \beta_2; \end{aligned} \quad (2)$$

– обчислюють координати віртуальної опорної точки P на прив'язаному знімку:

$$\begin{aligned} X_P - X_C &= \frac{(X_A - X_C) \tan \alpha_1 - (Y_A - Y_C)}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_3}; \\ Y_P - Y_C &= (X_P - X_C) \tan \alpha_3 \dots \end{aligned} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_i &= a_0 + a_1 x - a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y - a_8 x y^2 + a_9 y^3 \\ y_i &= b_0 + b_1 x - b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 + b_6 x^3 + b_7 x^2 y - b_8 x y^2 + b_9 y^3 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для n зв'язкових точок ($n \geq 9$) складемо систему рівнянь, з розв'язку якої можна визначити коефіцієнти поліному a, b і тоді, за рівнянням (4) знайдемо координати віртуальної опорної точки на прив'язаному аерознімку. У випадку використання більшої кількості зв'язкових точок використовуємо метод найменших квадратів, тобто розв'язок отримаємо із системи нормальних рівнянь

У використанні контурних точок як опорних існує багато суттєвих застережень. Зокрема, це стосується місцевості з високою забудовою. В роботі [Колб, 2019] ми даємо пропозицію апостеріорно оцінити якість наземної опорної мережі шляхом створення карти високих об'єктів місцевості. Спосіб створення такої карти перед-

У загальному випадку прив'язуваний аерознімок є нахиленим (тобто на ньому присутні перспективні спотворення, а отже, спотворено напрямки) і віртуальна опорна точка на такому знімку міститься не в точці нульових спотворень. У такому випадку застосування оберненої кутової засічки не є обґрунтованим.

Враховуючи, що спотворення зображення на прив'язаному знімку мають нелінійний характер, доцільно застосувати систему рівнянь з поліномів третього порядку для трансформування за n зв'язковими точками, заданими координатами (x, y) . Одна зв'язкова точка дозволяє скласти два рівняння виду:

бачає кореляційне зіставлення двох ортотрансформованих знімків без застосування ковзного вікна. Як впливає з наших досліджень, кількість точок із негативним кореляційним зіставленням двох ортотрансформованих знімків є суттєво вищою для ділянок із зображеннями високих об'єктів місцевості. Загальна картина щільності точок з негативним результатом зіставлення на всій території дослідження представлена у вигляді карти високих об'єктів місцевості. Таку карту можна сформувати як набір полігональних об'єктів, які оконтурюють зони з високою щільністю отриманих точок з негативним кореляційним зіставленням і оцінити розміщення відносно цих полігонів опорних та контрольних точок (рис. 2).

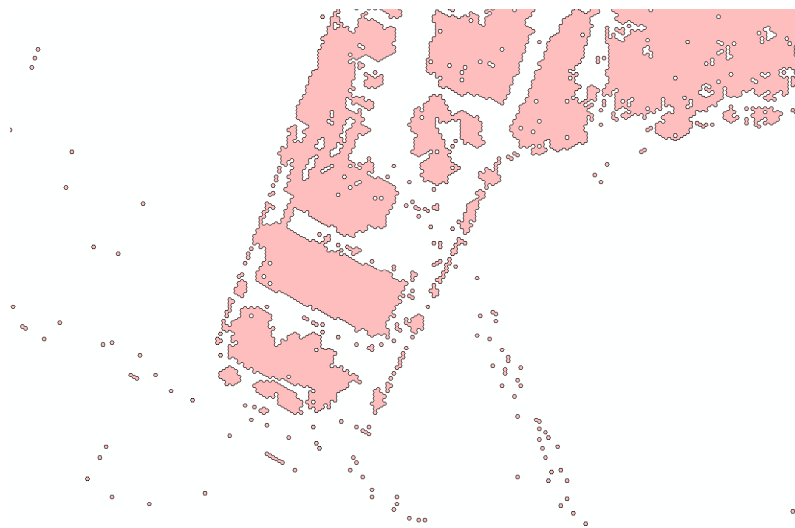


Рис. 2. Приклад автоматичного виділення зон на карті місцевості, де розміщення наземних та опорних і контрольних точок є небажаним

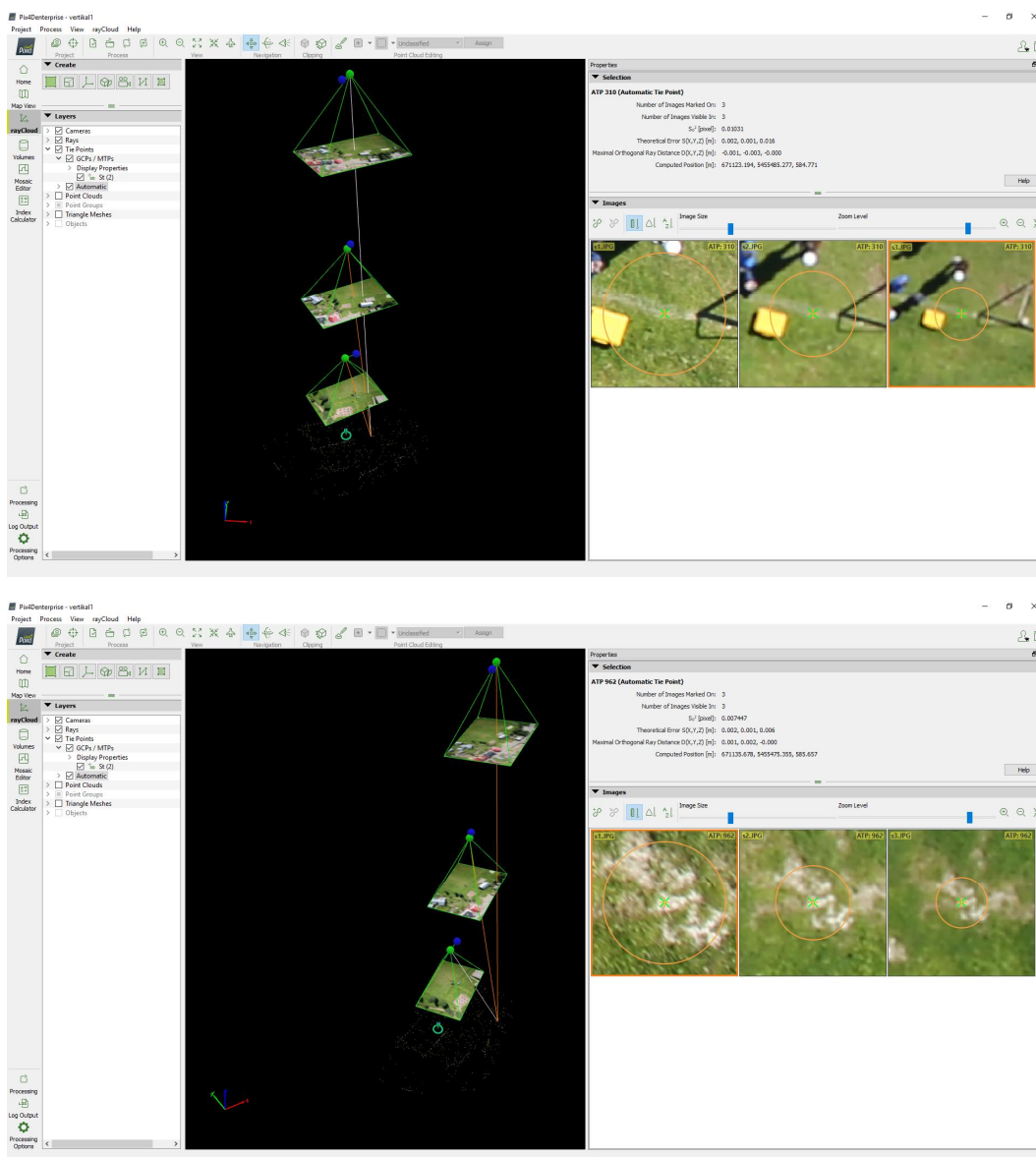


Рис. 3. Приклади реалізації автоматичного ототожнення точок на різномасштабних аерознімках

Щоб забезпечити розпізнавання опорної точки з найвищою точністю, ми передбачаємо застосовувати дрон для отримання з різних висот одного чи кількох знімків над опорною чи контрольною точкою. Кількість цих знімків і їхнє просторове розрізнення визначаємо з можливості надійного програмного ототожнення відповідних точок. Для найпоширенішого в фотограмметричному програмному забезпеченні методу ототожнення відповідних точок знімків стереопари Semi Global Matching використовують інваріантні (не чутливі) до масштабних спотворень дескриптори точок. Зображення опорної точки на знімку найвищого розрізнення виконує оператор, а далі здійснюється автоматичне почергове програмне ототожнення відповідних точок різномасштабних знімків з суб-піксельною точністю.

Як приклад практичної реалізації описаного підходу наведемо результати опрацювання двох серій із трьох аерознімків кожна, отриманих з висот 50 м, 100 м, 150 м над точками місцевості, в яких визначались GPS-методом просторові координати. Ручне опізнавання оператор виконував тільки на знімках, отриманих з висоти 50 м. В експерименті використано програмне забезпечення Pix4D (рис. 3).

Проведено дослідження з формування щільної хмари точок для малоконтурної місцевості. Для цього ми застосували стереопари, складені із різномасштабних аерознімків. Ця можливість може бути цікавою за потреби ущільнити існуючі хмари точок для відтворення детальніших моделей місцевості та об'єктів. Звичайно, слід враховувати під час таких дій факт, що необхідна для якісного 3D-моделювання щільність хмари точок суттєво відрізняється для різних об'єктів. Для експериментального дослідження дієвості цього підходу ми включили в блок аерознімків, отриманих з висоти 200 м, додатковий аерознімок, отриманий із висоти 75 м для надійнішого моделювання малоконтурної частини місцевості – луку в заплаві річки. Застосовано програмне забезпечення PhotoModeler Premium (<https://www.photomodeler.com/products/premium/>) (рис. 4).

Як бачимо на рисунку, метод щільної стереорекострукції SFM, який у нашому випадку реалізований у програмному забезпеченні Photo Modeller Premium, повністю реалізує поставлене завдання. Додатковий аерознімок був успішно занесений до мережі знімків базового масштабу і також застосований у щільній комп'ютерній стереорекострукції.

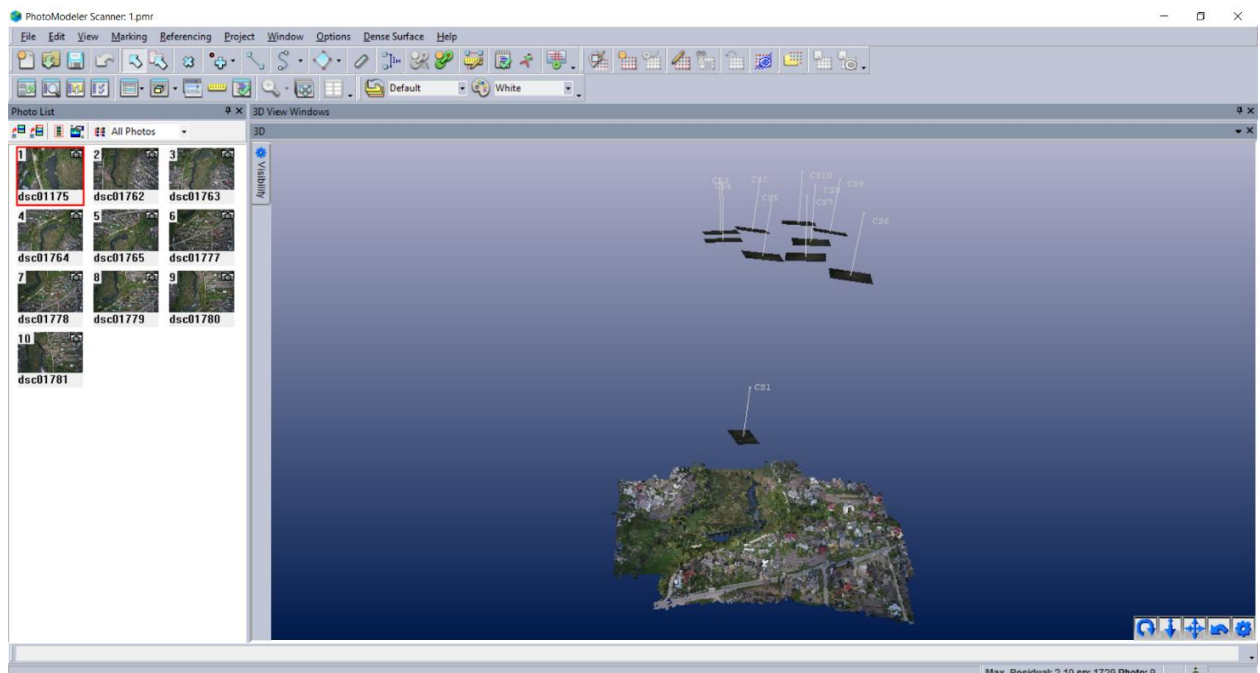


Рис. 4. Приклад включення додаткового аерознімка більшого масштабу в існуючий блок основних аерознімків

Наукова новизна і практична значущість

Уперше викладено результати апробації методу «опорного образу» з отриманням стереопар аерознімків з вертикальним розміщенням базису знімання. Виконано дослідження властивостей таких стереопар аерознімків для отримання зображень опорних точок. Підтверджена дієвість включення опорних образів в основний блок мережі цифрової фототріангуляції для знімків, отриманих із БПЛА.

Висновки

Висока точність фотограмметричних робіт є найважливішим фактором оцінки реалізованих проєктів різного призначення (топографічні, інженерні та ін.). Однією з причин низької точності фотограмметричних продуктів є незадовільна якість мережі GCP.

У роботі виконано аналіз факторів, які вплинули на точність фотограмметричних побудов, і сформульовано такі рекомендації:

1. Застосування методу створення та використання «віртуальної опорної точки» дозволяє в автоматичному режимі виконувати її якісне розпізнавання та внесення в фотограмметричний блок для подальшого високоточного опрацювання.

2. Застосування кореляційного зіставлення на двох сусідніх ортозображеннях дозволяє розпізнати області з високими об'єктами, де вибір опорних образів є утрудненим або небажаним.

3. Для забезпечення малоконтурних територій (наприклад, луг або болото) ми пропонуємо використовувати безпілотники для отримання додаткових знімків різного масштабу, а потім перенести положення GCP з великого масштабу в менший за напівавтоматичною процедурою. Ця дія без ускладнень і додаткових налаштувань здійснюється сучасними фотограмметричними програмними комплексами.

Перспективою майбутніх досліджень є визначення методів передачі опорної інформації на різні аеро- та космічні зображення та визначення параметрів точності різних методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Дорожинський О. Л. Аналітична та цифрова фотограмметрія: навч. посіб. Львів: *Національний університет "Львівська політехніка"*, 2002. 163 с.
- Дорожинський О. Л. Математичні моделі аналітичної та космічної фотограмметрії: монографія. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 142 с.
- Колб І. З. Аналітична фототріангуляція при відомих координатах центрів проєкцій аерофотознімків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: Львів, 2000. 19 с.
- Колб І. З. Спосіб створення та практичне застосування карти-маски високих об'єктів місцевості при ортотрансформуванні цифрових аерознімків / *ISTCGCAP*. Львів, 2019. Випуск 89. С. 29–35. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.01.029>
- Котов А. П. Информационная технология построения рельефа поверхности с оценкой параметров модели формирования изображений по малому числу наблюдений: дис... канд. техн. наук.: Самара, 2018. 133 с URL:https://ssau.ru/files/resources/dis_protection/Kotov_A_P_Informacionnaya_tehnologia_postroeniya_relefa.pdf
- Селиханович В. Г. Геодезия: Учебник для вузов, Ч. I I–M.: Недра, 1981. 544 с
- Способ идентификации опорных точек на космических изображениях местности при их трансформировании: пат. RU 2683626 C1. Date of publication: 29.03.2019 Bull. No. 10 URL: [file:///D:/f11/RU2683626C1%20\(2\).pdf](file:///D:/f11/RU2683626C1%20(2).pdf)
- Федоткин Д. И. Математическое и программное обеспечение процессов пространственной привязки космических изображений по электронным картам: автореф. дис. ...канд. техн. наук: Рязань, 2000. 16 с
- Gerke, M., & Przybilla, H.-J. (2016). Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns. *Photogrammetrie – Fernerkundung– Geoinformation (PFG)*, 2016 (1), 17–30. doi: <https://doi.org/10.1127/pfg/2016/0284>
- Hamidi, M., & Samadzadegan, F. (2020). Precise 3D geo-location of UAV images using geo-referenced data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W5, 2015 International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, 23–25 Nov 2015, Kish Island, Iran. URL: https://www.researchgate.net/publication/287121489_PRECISE_3D_GEO-LOCATION_OF_UAV_IMAGES_USING_GEO-REFERENCED_DATA

- Kolb, I. Supply of photogrammetric projects with reference information, obtained from large-scale aerial images. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 2018. Vol. 87, P. 65–74. doi: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.065>
- Peppas, M. V., Hall, J., Goodyear, J., & Mills, J. P. (2019). Photogrammetric assessment and comparison of DJI PHANTOM 4 PRO and PHANTOM 4 RTK small unmanned aircraft systems, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W13, 503–509. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-503-2019>, 2019.
- Przybilla, H.-J., Gerke, M., Dikhoff, I. & Ghassoun, Y. (2019). Investigations on the geometric quality of cameras for UAV applications using the high precision UAV test field zollern colliery. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W13. 531–538. doi: [10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-531-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-531-2019).
- Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M., & Gerke, M. (2019). UAV-based cadastral mapping: an assessment of the impact of flight parameters and ground truth measurements on the absolute accuracy of derived orthoimages. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W13. 613–617. doi: [10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-613-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-613-2019).
- Wiącek, P. & Pyka, K. (2019). The test field for UAV accuracy assessments. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-1/W2. 67–73. doi: [10.5194/isprs-archives-XLII-1-W2-67-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W2-67-2019).
- Wim van Wegen. Which Photogrammetry Solutions Are Surveyors Waiting For? Retrieved from <https://www.gim-international.com/content/article/which-photogrammetry-solutions-are-surveyors-waiting-for>

O. L. DOROZHYSKYI, I. Z. KOLB, L. V. BABIY, L. V. DYCHKO

Department of photogrammetry and geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. 0322-258-26-16, e-mail: ihor.z.kolb@nulp.edu.ua

METHOD OF COLLECTION OF CONTROL POINTS FOR GEOREFERENCING OF AERIAL IMAGES

Aim. Determination of the elements of external spatial orientation of the surveying systems at the moment of image acquisition is the fundamental task in photogrammetry. Principally, this problem is solving in two ways. The first way is direct positioning and measuring of directions of camera optical axis in the geodetic space with the help of GNSS/INS equipment. The second way is the analytical solution of the problem using a set of reference information (often such information is a set of ground control points whose geodetic positions are known with sufficient accuracy and which are reliably recognised on aerial images of the photogrammetric block). The authors consider the task of providing reference and control information using the second approach, which has a number of advantages in terms of reliability and accuracy of determining the unknown image exterior orientation parameters. It is proposed to obtain additional images of ground control points by the method of their auxiliary aerial photography using an unmanned aerial vehicle (UAV) on a larger scale compared to the scale of the images of the photogrammetric block. The aim of the presented work is the implementation of the method of creating reference points and experimental confirmation of its effectiveness for photogrammetric processing. **Methods and results.** For the entire realization of the potential of the analytical way to determine the elements of external orientation of images, it is necessary to have a certain number of ground control points (GCP) and to keep the defined scheme of their location on the photogrammetric block. As the main source of input data authors use UAV aerial images of the terrain, which are obtained separately from the block of aerial survey, and have a better geometric resolution and which clearly depict the control reference points. Application of such auxiliary images gives the possibility of automated transferring of the position of ground control point into images of the main photogrammetric block. In our interpretation, these images of ground control points and their surroundings on the ground are called "control reference images". The basis of the work is to develop a method for obtaining the auxiliary control reference images and transferring of position of GCP depicted on them into aerial or space images of terrain by means of computer stereo matching. To achieve this goal, we have developed a processing method for the creation of control reference images of aerial image or a series of auxiliary multi-scale aerial images obtained by a drone from different heights above the reference point. The operator identifies and measures the GCP once on the auxiliary aerial image of the highest resolution. Then there is an automatic stereo matching of the control reference image in the whole series of auxiliary images in succession with a decrease in the resolution and, ultimately, directly with the aerial images of photogrammetric block. On this stage there are no recognition/cursor targeting by the human operator, and therefore there are no discrepancies, errors or mistakes

related to it. In addition, if to apply fairly large size of control reference images, the proposed method can be used on a low-texture terrain, and therefore deal in many cases without the physical marking of points measured by GNSS method. And this is a way to simplify and reduce the cost of photogrammetric technology. The action of the developed method has been verified experimentally to provide the control reference information of the block of archival aerial images of the low-texture terrain. The results of the experimental approbation of the proposed method give grounds to assert that the method makes it possible to perform geodetic reference of photogrammetric projects more efficiently due to the refusal of the physical marking of the area before aerial survey. The proposed method can also be used to obtain the information for checking the quality of photogrammetric survey for provision of check points. The authors argue that the use of additional equipment – UAV of semi-professional class to obtain control reference images is economically feasible. **Scientific novelty and practical relevance.** The results of approbation of the «control reference image» method with obtaining stereo pairs of aerial images with vertical placement of the base are presented for the first time. There was implemented the study of the properties of such stereo pairs of aerial images to obtain images of reference points. The effectiveness of including reference images in the main block of the digital aerial triangulation network created on UAV's images is shown.

Key words: geodetic referencing of aerospace survey, referencing of large-scale aerial images, matching, GCP (ground control points); CP (check points).

Надійшла 23.06.2020 р.