

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ ПРОЕКТІВ ОПОРНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ, ОТРИМАНОЮ З ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ АЕРОЗНІМКІВ

Мета. Постійне зростання об'ємів дистанційно отримуваної інформації про місцевість ставить перед науковцями та практиками складні завдання щодо якісного її опрацювання у сенсі оперативності, повноти, тематичної та геометричної точності. Важливою передумовою виконання цих завдань є забезпечення знімків опорною інформацією. Вона необхідна для виконання фотограмметричного процесу геометричної корекції зображень та представлення цих зображень і створених на їх основі геоінформаційних продуктів у визначеній картографічній проекції та системі координат. Аналіз наявних у сучасній фотограмметрії методів вказує на значні перспективи застосування геоприв'язаних зображень для перенесення геодезичної інформації на нові знімки. У нашому трактуванні ці геоприв'язані зображення називають «**опорні образи**», бо це зображення об'єктів, геодезичне положення яких чітко визначене. Не слід ототожнювати це поняття з опорною точкою з її класичним визначенням. Основною метою роботи є розроблення способу отримання опорних образів і перенесення цих образів на аеро- або космічні знімки місцевості. Для досягнення поставленої мети ми розробили спосіб опрацювання аерознімка чи серії різномасштабних аерознімків, який/які є інформаційним джерелом для створення опорних образів. Перевірити дію розробленого способу для забезпечення блока архівних аерофотознімків опорною інформацією пропонується експериментально. **Методика та результати роботи.** Відповідно до поставленої мети виконано аналіз літературних джерел, які описують новітні способи забезпечення опорною інформацією аеро- та космічних знімків. Ми пропонуємо використовувати БПЛА, найкраще вертолітного типу, для отримання серії аерознімків з різних висот над опорною точкою. Зображення опорної точки (опорний образ) на знімку найбільшого масштабу надійно розпізнаються оператором або автоматично за її наперед сформованим еталонним зображенням. Далі виконується кореляційний пошук образу опорної точки послідовно на зображення меншого масштабу. Таким чином відбувається перенесення положення опорної точки на знімок, що підлягає геоприв'язці. Спосіб дає можливість виконувати геодезичні роботи на місцевості після процесу основного аерознімання, вибираючи положення опорних точок відповідно до конфігурації реального фотограмметричного блока аерознімків. Не обов'язковим є наявність чітких контурів на місцевості. **Наукова новизна та практична значущість.** Вперше конкретизовано зміст поняття «опорний образ» для задач геометричної корекції та геоприв'язування аеро- та космічних знімків. Запропоновано спосіб отримання опорного образу з БПЛА- аерознімка або серії різномасштабних аерознімків. Дію способу продемонстровано на прикладі забезпечення опорною інформацією блоків аерознімків малокошторної місцевості. Результати апробації запропонованого способу дають змогу ефективніше виконувати геодезичне забезпечення фотограмметричних проектів за рахунок відмови від фізичного маркування місцевості перед аерозніманням.

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

Геометрична корекція та геоприв'язка аеро- та космічних знімків є важливою частиною технологічного процесу отримання із знімків геометрично точних, коректних геоданих, необхідних для реалізації фотограмметричних проектів. Приведення портретного зображення місцевості до геометричних параметрів, визначених заданими картографічною проекцією та системою координат базується на визначенні елементів зовнішнього орієнтування

знімків, яке може здійснюватись безпосередньо в момент формування зображення (фіксує відповідними пристроями положення знімальної системи в геодезичному просторі) або аналітично, із застосуванням опорної інформації (опорних точок, напрямків тощо) [Grussenmeyer, Al Khalil, 2002]. В топографо-геодезичному виробництві найчастіше використовують традиційний підхід до забезпечення космічних та аеро- знімків наземними опорними та контрольними точками. На місцевості геодезичними методами

(найчастіше з допомогою GNSS-приймачів) визначають просторові координати контурних або маркованих на місцевості (якщо геодезична підготовка виконується до аеро- чи космічного знімання) точок. Паралельно формується абрис (інколи – фотоабрис) опорної точки. Далі, в процесі камерального оброблення, оператор візуально опізнає опорні точки на знімках фотограмметричного блоку або на космічному знімку. Таке переопізнавання точок хоча б на одному із знімків є практично єдиною в технологічному процесі неавтоматизованою операцією, а сам процес розпізнавання точок і наведення на неї вимірювального курсора неминуче супроводжується помилками і промахами. Прикладами наукових праць, в яких приводяться результати дослідження точності опізнавання і наведення оператором вимірювального курсора на зображення опорних і контрольних точок, як маркованих, так і контурних точок місцевості, є роботи: [Широкова та ін., 2010; Книжников, 1999].

З кінця 1990-х років, із введенням в фотограмметричні технології методів комп'ютерного оброблення зображень розроблено низку нових аналітичних методів зовнішнього орієнтування аерокосмічних знімків. Особливістю цих методів є застосування в якості опорної інформації таких даних як цифрові образи опорних точок (фізично перед зніманням маркованих на місцевості чи обраних на природних чи штучних контурах), тривимірні моделі окремих об'єктів місцевості, цифрові топографічні плани та карти, цифрові ортофотоплани тощо. Декілька методів геоприв'язки, що використовують типові набори геоданих, такі як цифрові топографічні карти, ортофотоплани та ЦМР, досліджені в рамках європейського проекту ОЕЕРЕ (European organization for experimental photogrammetric research) «Automatic Orientation of Aerial Images on Database Information». Результати цього проекту подаються в роботах [Höhle, 1998; Läbe and Ellenbeck, 1996; ОЕЕРЕ Seminar Report, 1999]. В роботі [Jędrzycka, 2000] приведено результати визначення елементів зовнішнього орієнтування аерознімків за наборами векторної картографічної інформації (лінійні та точкові об'єкти). Висока якість вирішення задачі забезпечується при середніх масштабах знімань

і вимагає наявності надійної і актуальної бази даних топографічних знімань. Метод, представлений в роботі [Höhle, 1999], пропонує як опорну інформацію застосовувати ортофотоплан, який є джерелом еталонних зображень опорних точок місцевості для їх візуального співставлення із точками нових аерознімків. Для реалізації такого підходу крім ортофотоплану має бути доступна цифрова модель рельєфу (DTM) відповідної точності для інтерполювання висот опорних точок, вибраних на ортофотоплані. Розвиток цього методу шляхом заміни ручного вибору оператором опорних і контрольних точок в зображеннях автоматизованою процедурою кореляційного пошуку викладено в роботах М. Потучкової [Potůčková, 2004, 2005]. Пашотта [Paszotta, 1999] запропонував визначати елементи зовнішнього орієнтування, мінімізуючи міру схожості між архівним (геоприв'язаним з належною точністю) і новим ортозображеннями (геоприв'язаним наближено). Shan (1999) та Höhle (1998) співставляли архівне ортозображення з новими знімками автоматично, а уточнення елементів зовнішнього орієнтування виконували шляхом відновлення зв'язки проєктуючих променів при умові задання просторових координат надійно розпізнаних точок ортофотоплану. Автори пропонують виконувати обернену фотограмметричну засічку для зовнішнього орієнтування кожного знімка окремо, що дає можливість відмовитись від аеротріангуляції або спростити її виконання [Shan, 1999, 2001; Paszotta, 1999b]. В роботі [Jaw. Wu, 2004] пропонується використовувати так звані «control patches», які є фрагментами архівних аерознімків з опорними точками, розміщеними в центрі такого фрагменту. Співставлення нових аерознімків з цими архівними зображеннями виконується автокорелятором. Апробація цього методу вказує на його ефективність при дотриманні суттєвих обмежень – малих змін на місцевості між датами знімань, приведення нових та архівних знімків до одного масштабу і достатньо точного задання початкових параметрів просторової орієнтації. Кількість успішних співставлень нових знімків, отриманих з перервою в 2 роки ($gsd=25m$ та $gsd=7,5m$) коливається від 19% до 67%. Елементи зовнішнього орієнтування

знімків уточнюються ітеративно. Отримано точність визначення лінійних елементів орієнтування 1 м, кутових – 1 мінута, що є доволі грубим результатом. При умові одномасштабності зображень точність співставлення відповідних точок знімків автори оцінюють в 0,5–0,8 пікселя. Відомий також спосіб геоприв'язування аерокосмічних зображень із застосуванням великомасштабних горизонтальних знімків, отриманих зі штативів і штанг [Berveglieri, Tommaselli, 2014]. Спосіб передбачає застосування над ширококутних камер типу «риб'яче око» які встановлено на вертикальній штанзі і дозволяють отримувати зображення опорної точки і прилеглої до неї місцевості з висоти біля 4,5 м. Геометричне розрізнення знімків є на порядок вищим, ніж точність визначення координат опорних точок (зауважимо, що це надлишкова інформація, яка не сприяє загальній ефективності способу), а самі зображення мають значні геометричні спотворення, усунення яких є складним завданням і передбачає попереднє лабораторне дослідження камер за особливою процедурою. Далі відбувається перетворення зображень для забезпечення їхньої відповідності за геометричними і радіометричними параметрами аерознімків і стереоототожнення образів опорних точок із аерознімками. Спосіб дає хороші результати на добре текстурованих, багатих на контури місцевостях. На нашу думку, відмінність умов отримання зображень опорних точок і аерознімків, а також додаткові процедури геометричної і радіометричної корекції зображень роблять описаний спосіб складним в реалізації, а результати, отримані для малоконтурних місцевостей, є ненадійними. В роботі [Некрасов, 2008] вказується, що використовувати GPS-точки для безпосереднього орієнтування космічних знімків без втрати точності неможливо, адже точність опізнавання GPS-точки не може істотно відрізнятись від його просторового розрізнення. Для підвищення точності зовнішнього орієнтування космічних знімків середнього розрізнення пропонується методика, згідно з якою на першому етапі GPS-точки опізнають на знімку високого розрізнення (отриманими, наприклад, камерою KBP-1000 з розрізненням 2 м на місцевості, знімки супутників Ikonos з розрізненням 1 м, QuickBird

з розрізненням до 0,6 м тощо). Далі точка переноситься на стереопару із знімків середнього розрізнення і виконується зовнішнє орієнтування. Очевидним недоліком методики є необхідність одночасного придбання знімків високого і середнього розрізнення. Причому, останні потрібні тільки для геоприв'язки і невідомо, чи стануть в нагоді при тематичному обробленні космічних знімків. Відкритим залишається питання співставлення знімків, які мають різну геометрію, характер деформації зображень внаслідок впливу рельєфу місцевості та нахилу знімальних систем, різницею радіометричних параметрів тощо. Автор повідомляє про точність зовнішнього орієнтування знімків високого розрізнення складає 0,5-1,5 пікселя, що для знімків KBP-1000 складає 1-3 м, а для знімків Ikonos – відповідно 0,5-1,5 м. Схожі висновки про точність геоприв'язування космічних знімків роблять автори роботи [Müller та ін, 2010]. Дослідження способу автоматичного вилучення опорних і контрольних точок із вже існуючих ортотрансформованих зображень з більш високим розрізненням (опорні зображення). Продуктивність способу продемонстрована при обробленні великої кількості космічних зображень SPOT 4, SPOT 5, IRS-P6 і ALOS. Відносна і абсолютна геометрична точність геоприв'язування складає приблизно половину розміру пікселя. В більш пізній редакції цієї роботи вже застосовувались панхроматичні та багатоспектральні знімки надвисокого розрізнення GeoEye-1 та QuickBird [Müller та ін., 2012]. Автори повідомляють, що відносна, а також абсолютна точність геоприв'язування космічних сканерних знімків високого розрізнення знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,0 пікселя вхідного зображення (лінійна RMSE). В умовах антропогенних ландшафтів Європи більша частина сцен (95-100%) може оброблятися автоматично. Допустимий інтервал часу між отриманням еталонних та геоприв'язуваних зображень становить від п'яти до семи років. Для районів з погано вираженою текстурою метод не забезпечує надійних результатів. Автори дослідження [Liu, Chen, 2009] пропонують використовувати спосіб стереоототожнення «точка знімка – до точки геоприв'язаного знімка» для ортотрансформування космічних знімків

Формосат. На такій само ідеї побудовано підхід, описаний в [Ma та ін., 2017]. Орієнтування космічного зображення відбувається за вже зареєстрованим в геодезичному просторі іншим зображенням. В такому випадку наземні опорні точки як такі не використовуються. Використання існуючих орієнтованих зображень для виконання повторного фотограмметричного проекту підвищує ефективність виробництва геопросторової продукції. M. Hamidi і F. Samadzadegan [Hamidi, Samadzadegan, 2015] використовують наперед прив'язані зображення і ЦМР для орієнтування знімків, отриманих з БПЛА. Проте їхній метод передбачає застосування в якості опорних зображень з гіршими характеристиками розрізнення аніж прив'язувані аерознімки. Відповідно точність геоприв'язки не є високою. В роботах [Tang та ін., 2016] а також [Li та ін., 2002] представлено математичні моделі для фотограмметричної обробки стереозображень, отриманих системами супутникового зображення високого розрізнення. На основі математичного моделювання виконано аналіз впливу кількості опорних точок, їхнього просторового розподілу та помилок вимірювання зображень на точність фотограмметричної моделі місцевості. Зроблено висновок про те, що точність визначення наземних координат при наявності повного забезпечення опорними точками від 2 до 3 м досяжна за космічними знімками з розрізненням 1м і від 5 до 12 м без опорних точок. Автоматичний метод зовнішнього орієнтування знімків, заснований на застосуванні як опорної інформації 3D цифрових моделей просторових об'єктів та на основі техніки порівняння структури контурів [Блохинов, Горбачев, 2011]. Автор пропонує правила виділення локальних особливостей одномірного представлення контурів. Обчислювальні процедури інваріантні до взаємного повороту аерознімків.

Підсумовуючи вище наведене, вкажемо, що всі описані методи не виключають розпізнавання і ручне вимірювання точок на знімках оператором. Точність визначення елементів орієнтування першочергово залежить від якості вхідного картографічного матеріалу, а він не завжди може бути співставним з новим виконуваним зніманням ні за геометричною

точністю (крім використання інструментально вимірюваних на місцевості геодезичними методами точок, ліній та полігонів), ні за спектральним портретом (якщо використовуються архівні ортофотоплани чи ортофотознімки). Необхідно виконувати процедури радіометричного покращення зображень (переведення кольорового зображення до сірого, зміна контрасту та яскравості тощо) та їхньої геометричної корекції (приведення до заданого розрізнення, орієнтування в просторі). Всі ці процедури громіздкі і не завжди забезпечують бажаний результат. Перелічені в публікаціях обставини підготовки вхідної інформації та прив'язування знімків є специфічними для різних знімальних систем. Зображення об'єктів на топографічних планах та знімках не завжди геометрично подібні до їхніх зображень на прив'язуваних знімках, що особливо проявляє себе при великомасштабних зніманнях. Більш надійні результати описані методи забезпечують в діапазоні середніх масштабів знімань (дрібніше 1:10000). Для великих масштабів знімань існують суттєві особливості і обмеження в застосуванні описаних вище методів. Отже, на нашу думку, з врахуванням поширення нових засобів отримання зображень земної поверхні для всіх типів носіїв знімальних систем – від космічних супутників до БПЛА нарізла потреба в коригуванні описаних методів застосування опорної геодезичної інформації.

Застосовувані в якості опорної інформації картографічні моделі (у тому числі і ЦМР), як правило, є генералізованими версіями зображення реальної місцевості. Тому велику перспективу, на наш погляд, мають методи, що застосовують опорні образи. Нагадаємо ще раз – це зображення об'єктів з відомою геоприв'язкою при умові, що такі дані є коректними за умовами отримання, радіометричними і геометричними характеристиками.

Мета

Основною метою роботи є розроблення способу отримання опорних образів і перенесення цих образів на аеро- або космічні знімки місцевості. Для досягнення поставленої мети слід виконати:

- ❖ формулювання терміну «опорний образ» як засобу перенесення геодезичної інформації на знімок чи фотограмметричний блок знімків;
- ❖ розроблення способу отримання аерознімка чи серії різномасштабних аерознімків, який/які є джерелом для створення опорного образу;
- ❖ експериментальна перевірка дії розробленого способу для забезпечення блоку архівних аерофотознімків опорною інформацією.

Методика та результати роботи

Враховуючи, що термін «опорний образ» поки не є загальноприйнятим в фотограмметрії, подамо його визначення. *Опорним образом є 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.* Опорний образ є засобом для перенесення геодезичної інформації на знімок чи фотограмметричний блок знімків. Зрозуміло, що зображувальні властивості опорного образу мають бути достатніми для однозначної ідентифікації об'єкта місцевості, що має визначену геодезичну метрику.

Опираючись на вище означене, сформулюємо умови отримання та застосування в фотограмметричному процесі опорних образів.

1) Образ опорного об'єкта має бути сформовано із збереженням геометричної подібності до його образу на прив'язуваних аеро- чи космічних знімках.

2) Різнмасштабність зображень (опорного та прив'язуваного) та їхня взаємна просторова орієнтація мають визначатись, виходячи із умов організації процесу візуального чи автоматичного стереоототожнення. Для практики важливим параметром є коефіцієнт відношення перевищення рельєфу сцени до висоти фотографування над сценою (див. Форсайт, Понс, стор. 79). Від цього параметра залежить можливість коректного застосування афінної моделі камери, замість більш загального проективного перетворення.

3) Розмір опорного образу має бути достатнім для надійного стереоототожнення.

Так як їхня кількість для фотограмметричного блоку невелика, то затрати часу при співставленні образів особливого практичного значення не мають.

4) Опорна точка на малоконтурній місцевості може бути встановлена не обов'язково безпосередньо на контурі, а її опис і спосіб вибору може враховувати якість топологічних ознак місцевості – «в створі, на уявному перетині, на продовженні лінії до уявного перетину, рівновіддалена від» тощо.

5) Відштовхуючись від загальної концепції застосування опорних образів, в практичній площині допустимим є формування набору різномасштабних опорних образів одного й того ж об'єкта місцевості. Процес перенесення опорної інформації при цьому буде відбуватись послідовно від опорного образу з найбільшим масштабом зображення – до опорних образів меншого масштабу і врешті, до знімка фотограмметричного блоку.

Отже, в загальному випадку, опорним образом є деякий фрагмент зображення, сформований довкола пікселя, в якому розміщене зображення опорної точки. Образ опорної точки можна легко сформуванати для марок – наперед виготовлених розпізнавальних знаків, які фізично розміщують на місцевості перед зніманням [Краус, Дорожинський]. Проте застосування марок несе певні видатки і незручності, пов'язані з їхнім виготовленням, розміщенням на місцевості (монтаж до знімання і демонтаж після знімання), транспортуванням тощо. Сформуванати ж образ контурної опорної точки місцевості можемо, використавши будь-який більш дешевий спосіб аерознімання, наприклад отримати знімок з малого БПЛА вертолїтного типу. При цьому слід зауважити, що відбір точки місцевості як кандидата на застосування в якості опорної чи контрольної точки в фотограмметричному процесі можна формалїзувати (математично обґрунтувати), якщо виходити не тільки з власного досвіду виконавця геодезичної підготовки місцевості, а застосувавши розрахунок автокореляційної функції для оцінки образу довільної точки місцевості. Приклад застосування кореляційної функції для оцінки точки знімка (ї сформованого навколо неї образу) як претендента для кореляційного пошуку приведено в роботі [Rotůšková. MATLAB...]. Унікальність опорного образу та його оптимальний для кореляційного пошуку розмір визначається шляхом оцінки кореляційної поверхні. Стандартне відхилення значень сірого σ_T та ентропії H_T дає оцінку

контрасту і кількості радіометричної інформації в образі.

Прообраз запропонованого тут методу відомий для аналогових знімків, коли перенесення положення опорних точок із знімка на знімок виконувалось оператором вручну [Шкурченко, 2004; Бошнякович, 1963]. Запропонований нами підхід відкриває шлях до більш ефективного геодезичного забезпечення, зокрема малоконтурної території. Більш того, запропонований підхід не вимагає розташування точки безпосередньо на контурі місцевості,

тобто на границі, що розділяє об'єкти з різною яскравістю. Ми використовуємо той факт, що такі перепади яскравості завжди присутні в якомусь околі ландшафту довкола точки – і саме цей фрагмент ландшафту формує унікальний образ кожної точки місцевості.

Пропонований нами принцип геодезичного забезпечення фотограмметричного блоку аерознімків проілюструємо рисунком.

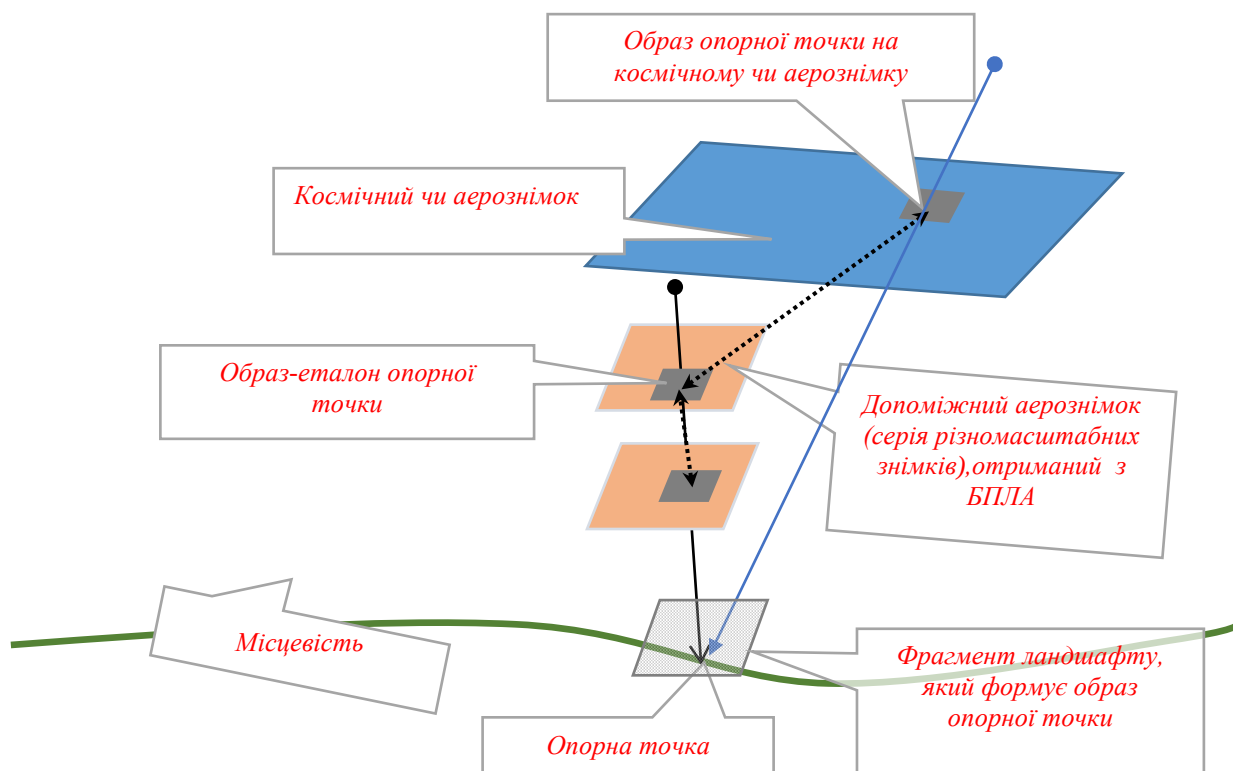


Fig. 1. Схема запропонованого способу отримання опорних образів

Процедура почергового співставлення (чи ідентифікації) двох образів (в нашому випадку – образу опорної точки $g(x,y)$ з множиною образів $f_i(x,y)$ аеро чи космічного знімка є добре відпрацьованою в цифровій фотограмметрії і забезпечує високу (субпіксельну) геометричну точність. На підтвердження цього приведемо приклади застосування опорних образів для забезпечення опорними точками фотограмметричного блоку аерознімків, отриманих з БПЛА.

Приклад 1. Виконане топографічне аерознімання сільської місцевості з БПЛА літакового типу. Розрізнення знімків (розмір

піксела на місцевості), $gsd=0,075m/pix$, середня висота знімання над місцевістю $H=200m$. Частина місцевості в середині блоку аерознімків має недостатні текстурні параметри для автоматичного виділення достатньої кількості зв'язкових точок між знімками і отже це місце є очікувано найслабшим у фотограмметричній мережі. Після основного аерознімання на цій місцевості нами замарковано картонним прямокутником розміру $4 \times 6cm$ що контрастує з кольором підстилаючої поверхні опорну точку. Просторові координати точки виміряні GPS приймачем геодезичного класу в RTK-режимі.

Над опорною точкою нами з допомогою БПЛА вертолітного типу отримано серію з трьох різномасштабних аерознімків – відповідно з висот 50, 100, 150 м. Ці знімки включено в фотограмметричний блок (рис. 2). Нова опорна точка оператором ідентифікована на знімку з найбільшим масштабом, а на інших знімках її положення визначили автокорелятором у програмі Pix4D.

Таким чином, існуючий блок аерознімків було доповнено новою опорною інформацією, що суттєво покращує точність виконання фотограмметричних процесів. Нові, додаткові

аерознімки можуть слугувати тільки для отримання опорного образу або можуть включатись у блок аерознімків.

Приклад 2. Умови аерознімання, ідентичні описаним у прикладі 1. В центральній частині відзнятої місцевості розміщено болотистий луг, місцевість малоко́нтрастна. Основне аерознімання виконане з висоти 200м, єдиний додатковий аерознімок, що несе опорний образ отримано з висоти 75м (рис.3). У цьому прикладі масштаби зображень опорної точки на основному і додатковому знімках відрізняються у 2,7 раза (рис. 3).

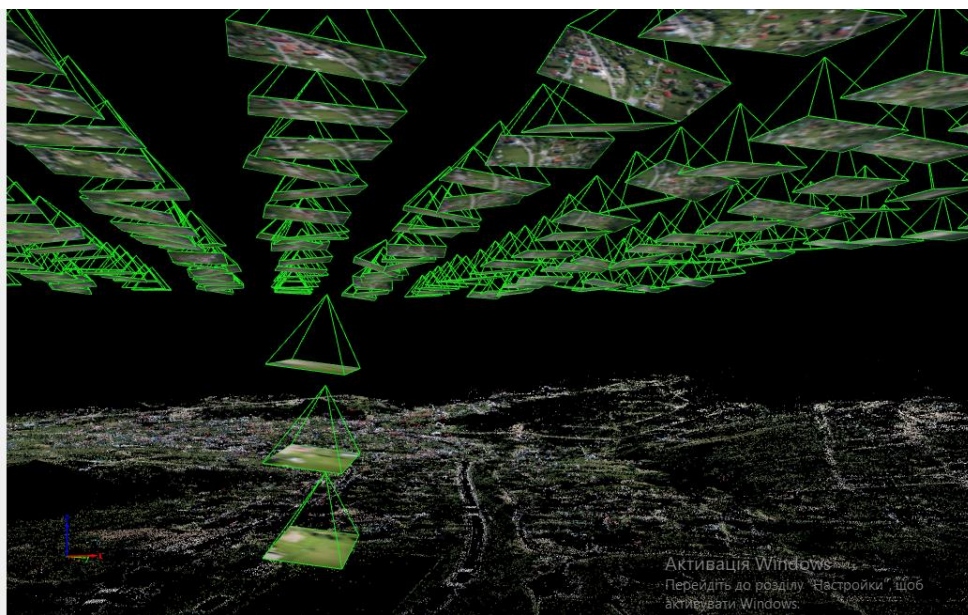


Fig. 2. Принцип доповнення блоку аерознімків новими знімками, що передають образ опорної точки.

Опорна точка на місцевості не маркувалась. Точка була обрана на доволі малопомітному мікро-контурі, що добре читався тільки на додатковому знімку. Фотограмметричне вимірювання і перенесення образу опорної

точки на аерознімок виконувалось з допомогою автокорелятора програми Фотомод. Результат успішної ідентифікації при пороговому значенні коефіцієнта кореляції 0,92 показано на рис. 4.



Fig. 3. Aerial photos of the low textured area. Left: $H=75m$; Right: $H=200m$

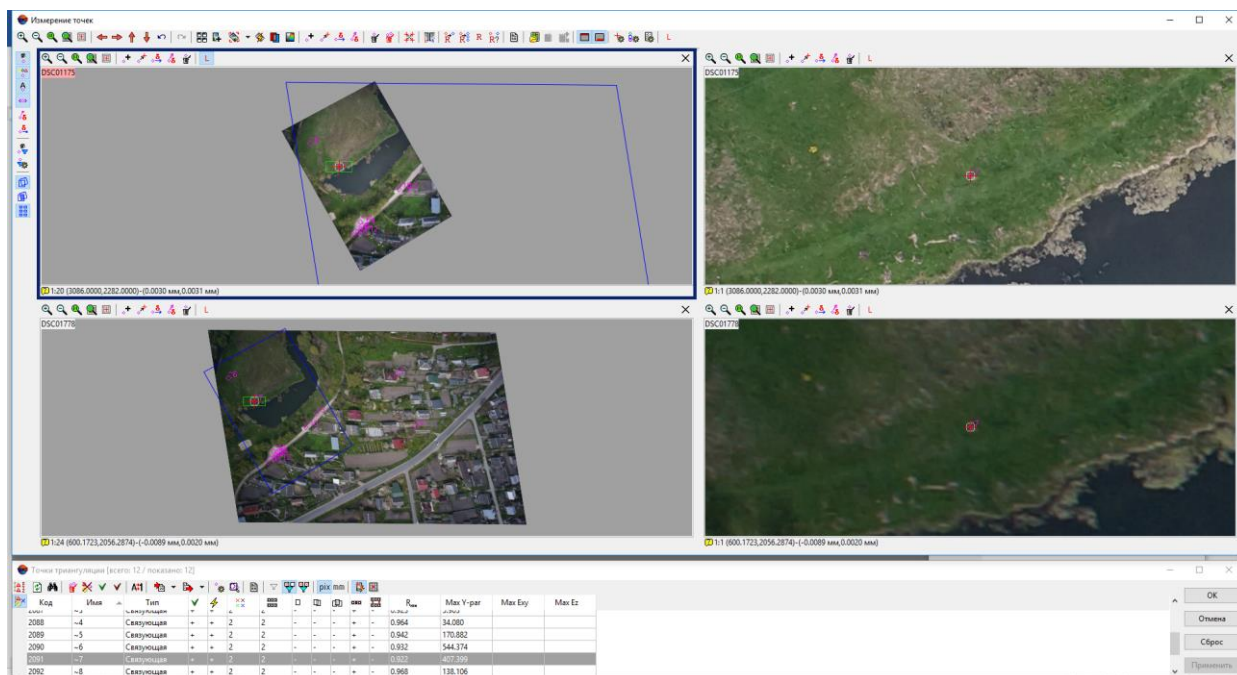


Fig. 4. Результат перенесення зображення опорної точки автокорелятором з опорного образу на аерознімок.

Проведені нами експерименти демонструють дієвість запропонованої технології.

Певною, але не принциповою, проблемою економічного та організаційного характеру запропонованого методу є застосування додаткового обладнання в виді БПЛА. Вартість БПЛА напівпрофесійного класу коштують до 1 тис. USD (наприклад, «Фантом-3», обладнаний камерою 14мпікс, GPS навігацією, 25 хв. польоту). Враховуючи багатократне застосування БПЛА, вартість його придбання і застосування співрозмірне з вартістю виготовлення, транспортування, розміщення марок на місцевості в проектах, які виконує мале приватне підприємство протягом календарного року. Керування легкими дронами не вимагає особливих професійних навиків. Адміністративні дозволи на легкі коптери не вимагаються навіть при польотах в межах населених пунктів (обмеження – в містах, військових, енергетичних об'єктах).

Наукова новизна і практична значущість

Вперше конкретизовано зміст поняття «опорний образ» для задач геометричної корекції та геоприв'язування аеро- та космічних знімків. Запропоновано спосіб отримання з допомогою БПЛА аерознімка та серії різномасштабних аерознімків, які є джерелом для створення опорного образу. Дію способу

продемонстровано на прикладі забезпечення опорною інформацією блоків аерознімання малоконтурних місцевостей. Результати апробації запропонованого способу дають змогу більш ефективно виконувати геодезичне забезпечення фотограмметричних проектів за рахунок відмови від фізичного маркування місцевості перед аерозніманням.

Висновки

Гнучкість запропонованої технології проявляється у більшій кількості варіантів вибору опорної інформації і при необхідності виконання дознімання при потребі покращення умов виконання фотограмметричних процедур. Оператор розпізнає точку один раз. Це можна зробити безпосередньо при польовому виконанні геодезичного забезпечення блоку аерознімків чи прив'язуванні космічного знімка. В ході камерального опрацювання в більшості випадків можна уникнути опізнань/наведень курсора і пов'язаних з ними розбіжностей, промахів і помилок. Крім того, вказаний метод при застосуванні достатньо великого розміру образів-еталонів можна застосовувати для малоконтурної місцевості, і отже можна в багатьох випадках обійтись без фізичного маркування точок. А це шлях до більшої ефективності фотограмметричної технології.

Перспектива подальших досліджень полягає у встановленні способів передавання опорної інформації на різні типи аерокосмічних знімків та встановлення параметрів точності різних способів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Блохинов Ю. Б., Горбачев В. А. Привязка наземных объектов на аэрофотоснимках на основе анализа контуров. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. М., №5. 2011. С.66-77.
- Бошнякович И. Д., Глебовский Ю. С. Фотопривязка аэрогеофизических маршрутов и аномалий. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 171с.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Балдина Е.А., Гельман Р.Н., Зинчук Н.Н., Золотарев Е.Л., Лабутина И.А., Харьковец Е.Г., Коцеруба А.Д. Цифровая стереоскопическая модель местности: Экспериментальные исследования. Монография. Под ред. Ю.Ф. Книжникова. – М.: Научный мир, 2004. – 244 с.
- Некрасов В. В. Разработка технологии использования снимков высокого пространственного разрешения при построении цифровой модели рельефа по материалам космических съемок. Специальность 25.00.34 «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия». Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва –2008. –23с.
- Форсайт Дэвид, Понс Жан. Обработка изображений современный подход. М.: Вильямс, 2004. — 928 с.
- Широкова Т.А., Чермошнцев А.Ю., Бармитова А.Т. Исследование точности визирования на точки космических снимков высокого и среднего разрешения (Investigation of sighting accuracy of medium and high resolution satellite images) // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2010. №2 (13). стр.31-36.
- Шкурченко Ю. В. Фотограмметричне калібрування знімків при побудові мереж аналітичної фототріангуляції: дис. канд. техн. наук: 05.24.02 / НУ «Львівська політехніка»; Львів, 2004. -143с.
- Berveglieri A., Tommaselli A. Multi-Scale Matching for the Automatic Location of Control Points in Large Scale Aerial Images Using Terrestrial Scenes. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014, Vol. XL-3/W1. Available from: https://www.researchgate.net/publication/263005459_Multi-Scale_Matching_for_the_Automatic_Location_of_Control_Points_in_Large_Scale_Aerial_Images_Using_Terrestrial_Scenes
- Cheng-Chien Liu, Po-Li Chen. Automatic extraction of ground control regions and orthorectification of remote sensing imagery. OPTICS EXPRESS. 2009, Vol. 17, No. 10, pp. 7970-7984.
- Grussenmeyer P., Al Khalil O. Solutions for exterior orientation in photogrammetry, a review. The photogrammetric record, an international journal of photogrammetry. 2002, No. 17(100), pp.615-634.
- Dorozhynskyy, O., Tukaj, R. Fotogrammetria (Photogrammetry). Wydawnictwo Politechniki Lwowskiej, Lwow-Krakow, 2009, 315 pp.
- Hamidi M., Samadzadegan F. 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. pp.269-275.
- Höhle J. Automatic orientation of the aerial images on database information. OEEPE, Official publication Nr. 36. 1999, pp.71-117.
- Höhle J. OEEPE Project-Automatic Orientation of Aerial Images by Means of Existing Orthoimages and Height Data. Newsletter OEEPE. 1998, No. 2, pp. 5-9.
- Jaw J.J., Wu Y.S. Automatic Photo Orientation via Matching with Control Patches. ISPRS Archives – Volume XXXV Part B3, 2004 XXth ISPRS Congress Technical Commission III July 12-23, 2004 Istanbul, Turkey, pp.1168-1172. Available from: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/443.pdf>
- Jędrzycka R. Automatyzacja procesu wyznaczania elementów orientacji zewnętrznej Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Kraków. 2000, vol. 10, str. 44-1: 44-10. Available from: http://kfit.uwm.edu.pl/renataj/publikacje/Jedrzycka_Krakow_2000.pdf
- Läbe T., Ellenbeck K.H. 3D-Wireframe Models as Ground Control Points for the Automatic Exterior Orientation. In: International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing. 1996, Part B2, Vol.31, pp. 218-223.
- Li R., Zhou G., Schmidt J., Fowler C., Tuell G. Photogrammetric processing of high-resolution airborne and satellite linear array stereo images for mapping applications, International Journal of Remote Sensing. 2002, vol. 23, no. 20, pp.4451-4473.
- Ma Z., Wu X., Yan L., Xu Z. Geometric Positioning for Satellite Imagery without Ground Control Points by Exploiting Repeated Observation. Sensors (Basel, Switzerland). 2017, 17(2), 240. Available from: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/2/240/pdf>
- Müller R., Krauß T., Schneider M., Reinartz P. Automated georeferencing of optical satellite data with integrated sensor model improvement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.

- Vol.78, No.1, January 2012, pp. 61–74. Available from:
<http://www.ingentaconnect.com/contentone/asprs/pers/2012/00000078/00000001/art00005?crawler=true>
- Müller R., Krauß T., Schneider M., Reinartz P. A Method for Geometric Processing of Optical Satellite Images Using Automatically Determined Ground Control Information. Canadian Geomatics Conference 2010, 15 June - 18 June, Calgary, Canada. Available from:
<http://elib.dlr.de/65227/1/ISPRS-RM-reduced.pdf>
- OEEPE Seminar Report. By Jie Shan, University of Gävle, Sweden. 1999. Available from:
<http://www.isprs.org/publications/highlights/highlights0402/oepe-report.pdf>
- Paszotta Z. Matching Orthoimages and Direct Method Determining Exterior Orientation Elements. European Organization for Experimental Photogrammetric Research. Official Publication No.36, 1999b, pp.145-150.
- Paszotta Z. Method of Exterior Orientation of Aerial Images by Matching Orthoimages. Dissertations and Monographs 28, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, 1999.
- Potůčková M. Image matching and its application in photogrammetry. Ph.D. thesis, Czech Technical University in Prague, 2004.
- Potůčková M. MATLAB and photogrammetric applications // Available from:
<http://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp05/potuckova.pdf>
- Shan J. An Approach to Single Image Automatic Orientation and Point Determination by Using Ortho-Image and DTM. Photogrammetric Record. 2001, 17(98), pp.343-353.
- Tang S., Wu B., Zhu Q. Combined adjustment of multi-resolution satellite imagery for improved geopositioning accuracy. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2016, Vol. 114, pp. 125-136.

Надійшла 03.01.2018 р.