

В.В. Гнатушенко, С.Ю. Серета

## ГЕОМЕТРИЧНЕ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА ПРИВ'ЯЗКА ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРОЕКЦІЙНОЇ ПРИРОДИ

*Анотація. У роботі розглядається технологія геометричної обробки та прив'язки сканерних стереознімків високого просторового розрізнення, що дозволяє в подальшому отримувати цифрові моделі рельєфу на великі території. Наведено інформацію про структуру та використання програмного комплексу стереообробки, а також ілюстрації, що пояснюють особливості й елементи розглянутої технології на прикладі обробки стереозображень, отриманих від космічного апарату «Ikonos».*

*Ключові слова: сканерне проекційне зображення, прив'язка, геометрична корекція, опорні точки.*

### Постановка проблеми

При реальній зйомці орбітальними засобами дистанційного зондування на цифрових знімках мають місце геометричні спотворення, викликані нерівностями рельєфу, кривизною поверхні Землі, параметрами руху супутника та іншими причинами. Більшість сучасних супутників, особливо високого просторового розрізнення, надають можливість користувачеві одержання стереозображень (рис.1). При використанні лінійних матричних сканерів стереоефект може бути досягнутий одним з наступних способів: 1) використання одного сканера — стереоефект досягається креном камери поперек напрямку польоту. Це реалізовано, наприклад, в космічному апараті SPOT; 2) використання одного сканера та зміна кутів тангажу. У цьому випадку камера нахилена вперед та назад вздовж напрямку польоту. Цей тип стереохоплення використовується в КА IKONOS. Метод має перевагу скорочення проміжку часу між сценами стереопари та, як наслідок, зменшення радіометричних чи геометричних розходжень між ними; 3) використання трьох сканерів (трилінійна камера). У цьому випадку, використовуються три сканера, які “працюють” одночасно у надирному напрямку, у напрямках вперед та назад. Для

того, щоб вихідна видова інформація, отримана за допомогою дистанційного зондування, була придатна для її використання, вимагається фотограмметрична обробка космічних знімків. У зв'язку з цим виникає питання забезпечення високої точності географічної прив'язки знімків та правильного підбору способу трансформації.

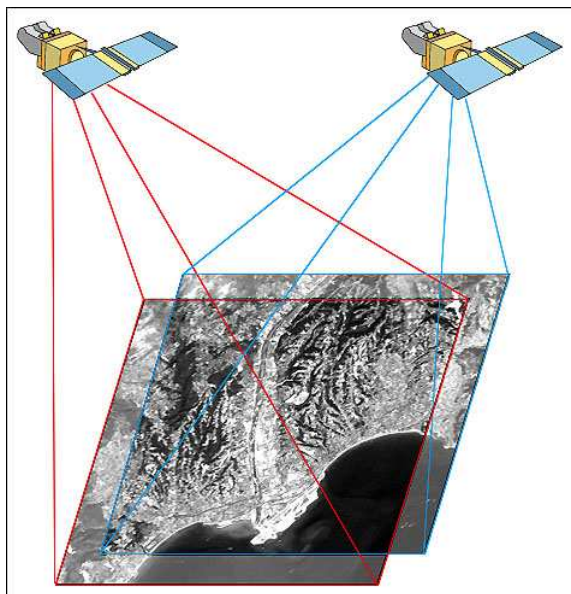


Рисунок 1 - Фіксація стереопари

#### **Аналіз останніх досліджень**

Ототожнення зображень, або прив'язка фрагментів, являє собою важливу задачу, що виникає в багатьох додатках машинного зору. Екологічний моніторинг, аналіз лісових ресурсів, моніторинг міських територій, автоматичний пошук даних дистанційного зондування у великих базах даних - тільки деякі з додатків, при вирішенні яких виникає задача розпізнавання і прив'язки фрагментів зображення. Істотні зміни в застосуванні методів такого типу пов'язані з розробкою та реалізацією нового покоління пристроїв, безпілотних літальних апаратів та наземних автономних роботів з елементами штучного інтелекту. Цим пояснюється збільшена актуальність розробки спеціалізованих алгоритмів для обробки даних різних видів зйомки, включаючи, в першу чергу, авіаційну та космічну. За сформованою до теперішнього часу класифікації виділяють алгоритми низького, середнього та високого рівнів [2], причому два останніх типа використовують для розпізнавання характерних особливостей зображення (FBM, feature based methods), такі, як точки, контури чи області [3]. На відміну від низькорівневих, майданних (ABM, area-based methods) FBM-методи мають більш високу стійкість щодо умов реєст-

рації зображень. Ця властивість дозволяє більш успішно використовувати FBM-методи в ситуаціях, коли умови освітлення або геометрія зйомки змінюються або точна інформація про масштаб і орієнтації зображень відсутня. З іншого боку, вони, природно, є більш наукомісткими і вимагають більш високих обчислювальних витрат. У роботі [4] розглядаються питання впливу помилок топографічної прив'язки опорних точок та їх кількості на характеристики скоригованого зображення. Вибір опорних точок на знімках пов'язаний з трудомісткістю процесу. Вони повинні бути рівномірно розподілені по знімку. Для того щоб знизити ймовірність помилкової ідентифікації фрагментів, у праці [4] було запропоновано методіку пошуку опорних точок проєкційних зображень. В результаті пошук виконувався не на всьому зображенні, а тільки уздовж епіполлярної лінії. Автори [5] пропонують алгоритм автоматичного пошуку контрольних точок, який дозволяє ідентифікувати значну кількість контрольних точок у складних умовах зйомки.

#### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Але існуючі моделі і методи попередньої обробки стереозображень не дозволяють ефективно компенсувати геометричні та радіометричні спотворення з урахуванням динаміки формоутворення унаслідок відсутності адекватної фізичної моделі формування сканерних стереозображень. Це приводить до зниження рівня вірогідності дешифрування об'єктів на цифровому знімку, а зазначені особливості вимагають розробки та застосування специфічних алгоритмів трансформування та прив'язки стереозображень.

#### **Основна частина**

Одним із способів геометричної корекції є метод DLT (Direct Linear Transformation), при якому використовуються співвідношення афінної відповідності між точками місцевості і знімка [6]:

$$\begin{aligned}x &= \frac{a_{11}X + a_{12}Y + a_{13}Z + a_{14}}{a_{31}X + a_{32}Y + a_{33}Z + 1} \\y &= \frac{a_{21}X + a_{22}Y + a_{23}Z + a_{24}}{a_{31}X + a_{32}Y + a_{33}Z + 1}.\end{aligned}\quad (1)$$

Цей спосіб трансформування реалізований у вигляді команди *Registration* (Реєстрація) пункту головного меню *Map* (Карта) програмного комплексу ENVI [7]. Команду *Registration* (Реєстрація) можна використовувати для геоприв'язки зображень, геометричної корекції, перепроєціювання знімка у задану проєкцію.

В інтерактивному режимі оператор в залежності від виду вихідної інформації має можливість виконати наступні операції: *Select GCPs: Image to Image* - вибір наземних опорних точок і реєстрація зображення в зображення; *Select GCPs: Image to Map* - вибір наземних опорних точок і реєстрація зображення в карту місцевості.

Розглянемо реєстрацію зображень першим способом, для якого потрібно щоб були відкриті два зображення. В головному меню ENVI вибираємо *Map > Registration > Select GCPs: Image to Image*. Для визначення наземних опорних точок на двох зображеннях одне з них вибираємо як базове зображення, а друге зображенням є те, для якого виконується прив'язка. Відповідно до цього у вікні *Image to Image Registration* вказуємо в якому дисплеї завантажено кожне із них (рис. 2).

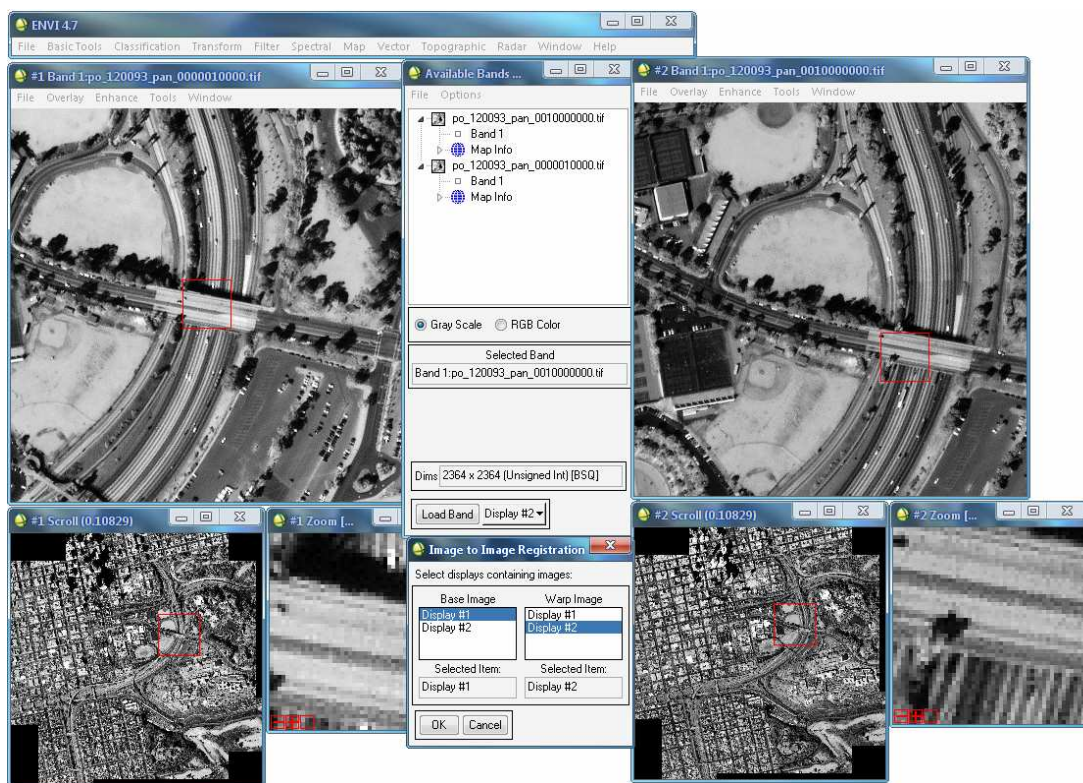


Рисунок 2 - Зображення для геоприв'язки, вибір базового зображення та відповідного вихідного зображення

На наступному етапі знаходимо характерні точки місцевості на базовому зображенні та зображенні, яке буде трансформовано. Цими точками можуть служити кути, створених людиною, якихось об'єктів, сільськогосподарських полів, перехрестя доріг. Для цього обираємо об'єкт, який можна розпізнати на двох зображеннях, і перемістимо на нього рамку вікна *ZOOM* (Масштабування), а безпосередньо

у вікні *ZOOM* поставимо перехрестя курсору на вершину кута фігури цього об'єкта. Таким же чином відбирається піксель і на другому зображенні. В діалоговому вікні *Ground Control Points Selection* (Вибір опорних точок) з'явиться інформація про пікселі (рис. 3). Додамо відбрану опорну точку до списку наземних опорних точок. Виберемо опорні точки на знімках так, щоб вони рівномірно були розподілені по всьому зображенню. Оцінимо якість набраних точок, проаналізувавши *RMS Error* (середньоквадратичну помилку точок прив'язки). В результаті чого видно, що проекції зображень незначно відрізняються одна від одної, оскільки значення *RMS Error* менше 1 (рис. 4). Результат подано на рис.5.

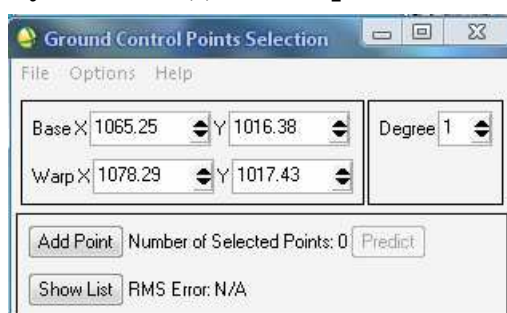


Рисунок 3 - Діалогове вікно Ground Control Points Selection

	Warp X	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	860.71	1177.0702	861.3239	0.2102	0.6139	0.6489
#2+	640.00	1970.4306	640.4108	0.1406	0.4108	0.4342
#3+	1428.86	1603.2040	1428.1998	-0.2260	-0.6602	0.6978
#4+	1471.57	2148.6213	1471.7199	0.0513	0.1499	0.1585
#5+	135.75	1546.8239	135.2356	-0.1761	-0.5144	0.5437

Рисунок 4 - Список опорних точок і оцінка їх якості

### Висновки та перспективи подальших досліджень

При аналізі знімків ДЗЗ важливими процедурами є геоприв'язка, геометрична корекція, відновлення зображень. Залежно від ефективності їх виконання залежить якість кінцевого продукту. Якщо коректно вибрати опорні точки, то обробку знімка можна провести з субпіксельною точністю. Слід зазначити, що зіставлення околиць опорних точок не піддається строгій формалізації, оскільки в його основі лежить проблема ідентифікації по зображенням фрагментів реальної тривимірної поверхні, що важко піддаються адекватному формальному опису. Виникаючи при зйомці і залежні від ракурсу проєктивні та яскравісні перетворення приводять до того, що в зображеннях ділянки сцени, знятої під різними ракурсами, з'являються значні відмінності. Принципово важливо те, що ці відмінності залежать не тільки від геометрії зйомки, але і від геометричних і фізичних характеристик самої сцени. Розташування джерел світла стосовно поверхні сцени впливає на розподіл освітленості. По-

ложення елементів сцени, їх відбивні властивості визначають кількість енергії, що попадає до систем реєстрації, а отже, і локальні відмінності в яскравостях опорних фрагментів зображень.



Рисунок 5

Проведення подальших досліджень буде пов'язано з спільною обробкою багатоканальних зображень надвисокого просторового розрізнення та присвячено визначенню критерію «подібності» опорних фрагментів.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Белозерский Л.А. Особенности полиномиальной геометрической коррекции применительно к задачам анализа изображений разновременной космической съемки / Л.А. Белозерский Л.А., Н.И. Мурашко, Д.С. Суценья // Штучний інтелект. — 2010. — № 3. — С. 299—311.
2. Davis E.R. Machine Vision, Third Edition: Theory, Algorithms, Practicalities. — Amsterdam: Elsevier, 2005. — 934 p.
3. Schenk T. Digital Photogrammetry. V.1. — Dayton: TerraScience, 1999. 422 p.
4. Гнатушенко В.В. Геометрія пошуку опорних точок при обробці зображень / В.В. Гнатушенко, О.В. Реута // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К., 2003. — Вип. 73. — С. 184—189.
5. Кравченко А.Н. Алгоритм географічної прив'язки знімків супутника «СІЧ-2» / А.Н. Кравченко, Н.С. Лавренюк, Н.М. Куссуль // Наукові праці ДонНТУ.— 2013. — № 2(18). — С. 71—79.
6. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Москва, Техносфера, 2010, 560 с.
7. Совзонд. Программный комплекс ENVI. Учебное пособие.