УДК 528.71+514.1

В.В. Гнатушенко

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТИВНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИЧНІЙ ОБРОБЦІ СТЕРЕОЗОБРАЖЕНЬ

Постановка проблеми

Однією з основних цілей стереофотограмметрії, як відомо, є точне відтворення кількісної геометричної інформації по декількох зображеннях однієї ділянки земної поверхні. Одним з напрямків сучасних досліджень є вдосконалювання методів вирішення основних фотограмметричних завдань, засноване, головним чином, на використанні положень проективної фотограмметрії. Проективна фотограмметрія (ПФ) заснована на положеннях проективної геометрії й матричного обчислення [1] і призначена для більш повного опису законів побудови зображення реальною камерою. Відмінною рисою ПФ є використання скалярної метрики, внаслідок чого координати й елементи орієнтування представляються безрозмірними числами — скалярами [1, 2]. Елементи внутрішнього й зовнішнього орієнтування знімків у явному виді тут не використовуються, що притаманно традиційній фотограмметрії, однак проективні параметри включають їх у себе й доповнюють їх. При необхідності традиційні елементи можуть бути виділені із проективних шляхом матричних перетворень [2].

Цифрова фотограмметрія заснована на об'єднанні двох наукових напрямків — аналітичної фотограмметрії й методів цифрової обробки зображень. Досить довгий час ці напрямки розвивалися незалежно й вирішували різні завдання. Розвиток обчислювальної техніки дозволив об'єднати ці методи обробки знімків, і в результаті з'явилася цифрова фотограмметрія. Гнучкість цифрових методів обробки відкриває необмежені можливості в створенні нових методик і технологій, розрахованих на рішення конкретних завдань й одержання нових видів продукції. При цьому "спеціалізовані" методи дозволяють вирішити конкретне завдання з меншими витратами, одержати результат швидше й з більш високою точністю, чим при використанні стандартних технологій.

Основними співвідношеннями ПФ є проективні й афінні перетворення просторів різної розмірності. Закон побудови реального знімка в загальному випадку (за винятком нелінійних перекручувань) описується проективним перетворенням тривимірного простору у двовимірне, що може бути представлене у вигляді рівнянь проективної колінеарності.

Проективні методи дозволяють також удосконалити процес побудови фотограмметричної моделі. Взаємне орієнтування пари знімків за допомогою проективного перетворення двовимірного простору у двовимірне дозволяє вирішувати дану задачу практично прямим методом.

Аналіз останніх досліджень

Серед останніх досліджень у даному напрямку слід виділити роботи [2-5], в яких розглядаються можливості геометричного моделювання та використання проективної геометрії для ефективного вирішення задачі взаємного орієнтування стереознімків. Традиційний спосіб взаємного орієнтування знімків використовує матриці напрямних косинусів [6]. Нелінійність виникаючих при цьому рівнянь поправок обумовлює їхню лінеаризацію шляхом узяття похідних від тригонометричних функцій, а також знання наближених значень шуканих параметрів. Разом з тим, при взаємному орієнтуванні, наприклад, похило-конвергентних знімків з великими кутами конвергенції (до 70°) і нахилу (порядку 10°) виникає необхідність визначення вихідних значень параметрів у кожному окремому випадку. У випадку їхнього неточного завдання кількість ітерацій зростає, а сам процес, як правило, розходиться.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу відшукання такого методу, що дозволить вирішувати задачу взаємного орієнтування при будь-яких значеннях кутів і без знання їхніх наближених значень.

Основна частина

В основі проективної моделі лежать афінні матриці A_i з параметрами взаємного орієнтування [2]:

ISSN 1562-9945

$$A_1 r_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ c_{21} & a_{22} & a_{23} \\ c_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}; \qquad A_2 r_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}. \tag{1}$$

Як відомо, умова взаємного орієнтування з нерухомим базисом має вигляд:

$$Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0\,. \tag{2}$$

Виразивши зі співвідношень (1) значення для умови (2), одержимо:

$$\begin{aligned} &Y_1 = c_{21}x_1 + y_1; \quad Y_2 = d_{21}x_2 + d_{22}y_2 + d_{23}; \\ &Z_1 = c_{31}x_1 + 1; \quad Z_2 = d_{31}x_2 + d_{32}y_2 + 1; \end{aligned} \tag{3}$$

З урахуванням (3) рівняння поправок для взаємного орієнтування можна записати в такий спосіб:

$$C_1 x_1 x_2 + C_2 x_1 y_2 + C_3 x_1 + d_{31} y_1 x_2 + d_{32} y_1 y_2 - d_{21} x_2 - d_{22} y_2 - d_{23} - y_1 = V\,. \tag{4}$$

У процесі вирішення системи рівнянь (4), наприклад, методом найменших квадратів визначаються 8 параметрів:

$$\Delta = \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & d_{31} & d_{32} & d_{21} & d_{22} & d_{23} \end{pmatrix}^T. \tag{5}$$

Елементи c_{21} і c_{31} визначаються додатково шляхом вирішення системи рівнянь щодо комбінованих параметрів C_1, C_2, C_3. У результаті будуть отримані 7 проективних параметрів внутрішнього орієнтування, з яких складаються афінні матриці (1), на основі яких трансформуються знімки й обчислюються координати точок проективної моделі.

Рівняння поправок (4) вимагають багаторазового вирішення задачі й уточнення матриць (1) шляхом виконання лінійних ітерацій. Для цього можна застосовувати алгоритм попереднього трансформування [2], що включає вирішення по формулах (4) з наступним трансформуванням. Остаточне трансформування вихідних знімків й обчислення координат точок моделі здійснюється після досягнення необхідної точності, для цього досить виконання 2-4 ітерацій.

Координати точок проективної моделі обчислюємо по наступних формулах:

$$R_M = N_1 A_1 r_1 = N_2 A_2 r_2 + B\,, \tag{6}$$

або, більш докладно:

$$\begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} = N_1 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ c_{21} & a_{22} & a_{23} \\ c_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = N_2 \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_X = 1 \\ B_Y = 0 \\ B_Z = 0 \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Перевірка вищевикладеного методу взаємного орієнтування багаторазово здійснювалася на основі штучних знімків з випадковими помилками й показала точність вирішення задачі, яка є розмірною з величиною випадкових помилок штучно створених знімків. У процесі досліджень по обробці одиночної стереопари проективними методами здійснювалася побудова проективних моделей по реальних цифрових похило-конвергентних знімках. Величина залишкового поперечного паралакса становила при цьому порядку 0,2 піксела, що відповідає сукупній точності побудови зображення і помилкам вимірів знімків.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропонований алгоритм дозволяє користувачам використовувати величезний потенціал аерокосмічних стереозображень, особливо високого просторового розрізнення, без наявності точної фізичної моделі сенсорів та GCP.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калантаров Е.И., Говоров А.В., Никишин Д.А. Эволюция проективной фотограмметрии. // Сборник докладов международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК. — М.: МИИГАиК, 2004, с.66-70.
2. Калантаров Е.И. Курс лекций по проективной фотограмметрии. М.: МИИГАиК, 2000.
3. Гнатушенко В.В. Альтернативні геометричні моделі одержання супутникових зображень високого розрізнення // Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 8. – С. 48-53.
4. Гнатушенко В.В., Дмитрієва І.С. Моделі супутникових стереозображень високої просторової здатності // Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2006. – Вип. 14. – С. 72-78.
5. Хижниченко В.И. К вопросу о геометрической коррекции сканерных снимков земной поверхности // Исследование Земли из космоса. 1981. №4. С. 96-103.
6. Назаров А.С. Фотограмметрия. — М.: ТетраСистемс, 2006. – 368 с.

Получено 10.03.2008 г.

 ISSN 1562-9945