

## КООРДИНАТНА ПРИВ'ЯЗКА ФОТОЗНІМКІВ ТА ФОТОПЛАНІВ НА ОСНОВІ КУСОЧНО - ЛІНІЙНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ РАСТРА

д.т.н., проф. Ю.В. Стасєв, О.В. Кас'янов

*У статті пропонується спосіб координатної прив'язки фотознімків та фотопланів на основі побудови триангуляції Делоне та кусочно - лінійних перетворень растра.*

В сучасних умовах ведення бойових дій важливого значення набуває аерофоторозвідка противника, місцевості та окремих об'єктів з літальних апаратів: літаків, безпілотних літальних апаратів та штучних супутників Землі. Метою аерофоторозвідки є:

- розвідка противника – зосередження та пересування військ, виявлення вогневих засобів, бойової техніки та оборонних споруджень;
- контроль за зміною місцевості внаслідок нанесення вогневих ударів, особливо ядерних;
- контроль за діями своїх військ (виявлення результатів ударів, ураження цілей авіацією, ракетними військами та артилерією, перевірка якості маскуванню);
- топогеодезична прив'язка позицій та цілевказівка;
- виявлення перешкод на шляху військ та визначення шляхів їх обходу.

До складаємих по результатах фотозйомки документів висувуються достатньо високі вимоги по точнісних та часових показниках, тому зростає значення автоматизації їх обробки [4].

Одним з основних завдань обробки фотодокументів є їх координатна прив'язка. Це завдання в більшості комп'ютерних геоінформаційних систем вирішується через повне афінне перетворення всього растра. За трьома відомими точками будується повне афінне перетворення всього растра, за допомогою якого розраховуються координати четвертої точки. Якщо нев'язка між реальними та обчисленими координатами цієї точки менше заданої похибки, то весь растр перераховується з урахуванням похибки, в протилежному випадку потрібно процес прив'язки повторити. Такий підхід застосовується, наприклад, в системах ArcInfo та AutoCad.

Як відомо, на практиці зображення на аерознімках, як перспективних, так і планових, мають викривлення за рахунок відхилення оптичної осі аерофотоапарата від прямої лінії в момент фотографування та внаслідок викривлень за рельєф. Ці викривлення значно зростають від центральної точки знімка до країв. Крім цих можливі викривлення зо-

бражень при вводі в комп'ютер. Тому описаний вище підхід до координатної прив'язки вимагає ще й попереднього виправлення викривлень. Наявність великої кількості точок з відомими реальними координатами дозволяє тільки усереднити помилки, але не виправити їх.

Між тим можна запропонувати інший засіб координатної прив'язки, який при наявності певної кількості точок дає змогу автоматично зменшити викривлення зображення та залишає реальними координати опорних точок в перетвореному растрі. Цей засіб передбачає розбиття зображення на трикутні фрагменти та кусочно - лінійне перетворення растра.

На фотознімку та фотоплані завжди можна виділити значну кількість точок, для яких можна визначити реальні координати. Ці точки вибираються як опорні. Весь растр розбивається на трикутники, вершинами яких є опорні точки. Кожна область растра, обмежена трикутником, підвергається афінному перетворенню окремо, при цьому реальні координати опорних точок виступають як вихідні дані для перетворення і не змінюються.

Для розбиття растра на трикутники можна скористатись триангуляцією Делоне, яка має ряд практичних переваг:

- однозначність (не залежить від порядку надання похідних точок);
- для її побудови використовується проста локальна умова ( жодна точка не може лежати в межах окружності, побудованої по трьох вершинах трикутника Делоне), для її перевірки достатньо аналізувати пари суміжних трикутників;
- побудовані трикутники завжди найближчі до правильних ( в наслідок умови Делоне з двох трикутників, що можна побудувати по чотирьох точках в триангуляцію включається та, у якої найменший з шести кутів буде максимальним), що підвищує точність подальшої інтерполяції поверхні.

В загальному випадку задача побудови триангуляції не є тривіальною. Як відомо, її неможливо побудувати менше ніж за  $O(n \log n)$  [2]. Однак, оскільки для прив'язки береться невелика кількість опорних точок, для побудови триангуляції можна скористатись простим ітеративним алгоритмом, який передбачає побудову початкової триангуляції по перших чотирьох точках і подальшу перебудову триангуляції при доданні кожної нової опорної точки [3].

Вибираємо як похідні чотири кутові точки растра. Є очевидним, що всі опорні точки лежать в межах побудованого по кутових точках контуру. Будуємо триангуляцію введеного контуру. Для кожної опорної точки, що послідовно додається до триангуляції, потрібно виконати дві операції: локалізацію та перебудову системи трикутників. Для локалізації нова точка з'єднується відрізком із однією з точок першого трикутника. В цьому випадку достатньо перевірити перетинання одного з ребер трикутника **ABC** (рис. 1), вибрати наступний трикутник, утворений реб-

ром **BC** та перевірити перетинання одного з двох інших його ребер відрізком **KP** і так далі. Перевірку перетинання ребер відрізком **KP** виявляємо, користуючись параметричним заданням відрізків [1]:

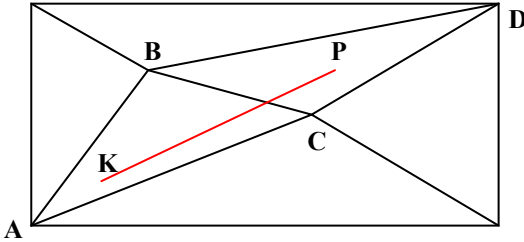


Рис. 1. Локалізація доданої точки

кінців другого відрізка;  $t, v$  - параметри.

Відрізки перетинаються при умові, що

$$x(t) = x'(v), \quad y(t) = y'(v), \quad 0 \leq (t, v) \leq 1.$$

Трикутник **BDC**, до якого належить нова точка **P**, розкладається на три нові трикутники з вершиною **P** (рис. 2). Для кожного утвореного трикутника та суміжного з ним старого перевіряється виконання правила Делоне. Якщо правило не виконується, то трикутники поєднуються в чотирикутник, в якому проводиться нова діагональ. Для утворених трикутників та суміжних з ними знову здійснюється перевірка правила Делоне і так далі. Якщо в результаті перебудови буде утворено  $k$  нових трикутників, значить точка **P** з'єднана з  $k$  вершинами і було здійснено  $2k-3$  перевірок.

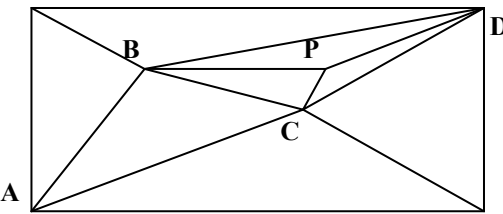


Рис. 2. Перебудова триангуляції

Для будь-якої області растра, обмеженої трикутником з вершинами в точках **A, B, C** ( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ), ( $x_3, y_3$ ), можна визначити площу:

$$S_{ABC} = \pm \frac{1}{2} (y_1(x_2 - x_3) + y_2(x_3 - x_1) + y_3(x_1 - x_2)). \quad (1)$$

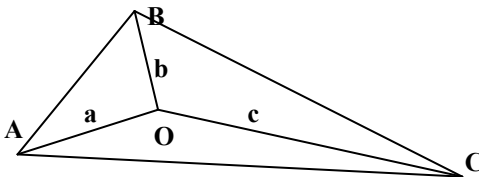


Рис. 3. Визначення відносних координат точки в області

$$x(t) = x_1 + (x_2 - x_1)t;$$

$$y(t) = y_1 + (y_2 - y_1)t;$$

$$x'(v) = x'_1 + (x'_2 - x'_1)v;$$

$$y'(v) = y'_1 + (y'_2 - y'_1)v,$$

де  $x_1, x_2, y_1, y_2$  - координати кінців першого відрізка;

$x'_1, x'_2, y'_1, y'_2$  - координати

кінців другого відрізка;  $t, v$  - параметри. Відрізки перетинаються при умові, що  $x(t) = x'(v), y(t) = y'(v), 0 \leq (t, v) \leq 1$ . Трикутник **BDC**, до якого належить нова точка **P**, розкладається на три нові трикутники з вершиною **P** (рис. 2). Для кожного утвореного трикутника та суміжного з ним старого перевіряється виконання правила Делоне. Якщо правило не виконується, то трикутники поєднуються в чотирикутник, в якому проводиться нова діагональ. Для утворених трикутників та суміжних з ними знову здійснюється перевірка правила Делоне і так далі. Якщо в результаті перебудови буде утворено  $k$  нових трикутників, значить точка **P** з'єднана з  $k$  вершинами і було здійснено  $2k-3$  перевірок.

Для будь-якої області растра, обмеженої трикутником з вершинами в точках **A, B, C** ( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ), ( $x_3, y_3$ ), можна визначити площу:

Для довільної точки **O**, що знаходиться всередині області, обмеженої трикутником **ABC** (рис. 3), визначаються координати її відносно трикутника **ABC** за формулами (2 - 4):

$$a = \frac{S_{BCO}}{S_{ABC}}; \quad (2)$$

$$b = \frac{S_{AOC}}{S_{ABC}}; \quad (3)$$

$$c = \frac{S_{ABO}}{S_{ABC}}. \quad (4)$$

Реальні координати точки **O** у перетвореному растрі:

$$x = a \cdot x(A) + b \cdot x(B) + c \cdot x(C); \quad (5)$$

$$y = a \cdot y(A) + b \cdot y(B) + c \cdot y(C), \quad (6)$$

де  $x(A)$ ,  $x(B)$ ,  $x(C)$  – реальні  $x$ -координати відповідно точок **A**, **B**, **C**;  $y(A)$ ,  $y(B)$ ,  $y(C)$  – реальні  $y$ -координати відповідно точок **A**, **B**, **C**.

Таке перетворення залишається безперервним і на ребрах трикутника.

Наведений спосіб перерахунку растра легко реалізується програмно і дозволяє швидко здійснювати координатну прив'язку фотознімків та фотопланів без попереднього виправлення викривлень. Збільшення кількості опорних точок значно збільшує точність прив'язки, при цьому реальні координати опорних точок не змінюються.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Батыев В.Д., Камалтынов Г.Г., Арасманов М.Р., Тимошенко Л. О. Автоматическое получение информации о рельефе местности из цифровых карт // *Збірник наукових праць*. – Харків : ХВУ. – 1999. – Вып. 4(26). – С. 86 - 94.
2. Препара Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
3. Скворцов А.В., Костюк Ю.Л. Эффективные алгоритмы построения триангуляции Делоне // *Геоинформатика, теория и практика*. – Томск: Изд - во Том. ун-та. – 1998. – Вып. 1. – С. 22 - 47.
4. *Справочник по военной топографии*. – М.: Воениздат, 1980. – 352 с.

Надійшла 08.02.2002

**СТАСЄВ Юрій Володимирович**, докт. техн. наук, професор, начальник факультету ХВУ. Закінчив Харківське ВВКІУ у 1981 році. Галузь наукових інтересів - захист інформації в автоматизованих системах управління та зв'язку, способи отримання та обробки інформації.

**КАС'ЯНОВ Олег Вікторович**, ад'юнкт кафедри Харківського військового університету. Галузь наукових інтересів – геоінформаційні технології.

---