

УДК 519.687:528

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРНИХ ТОЧОК ГЕОГРАФІЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПО ПРОТЯЖНИМ ОБ'ЄКТАМ

Присяжний В.І., Клюфас С.І., Маковейчук О. М., Бутко І.М.

ВСТУП

Одним із методів географічної прив'язки космічних фотознімків є пошук і ідентифікація опорних точок на зображенні і на карті у проекції (довгота, широта).

Для визначення опорних точок застосовуються методи, що базуються на виділенні високочастотної компоненти зображення – обчислення локальної дисперсії, ентропії або середніх локальних значень градієнта зображення [1, 2]. Далі виділяються границі і окремі точки на них, використовуючи локальні екстремуми кривої контуру [2] або алгоритм пошуку кутів [3].

Основні недоліки описаного методу:

- необхідність використання високодетальних зображень;
- низька точність визначення точок;
- проблема ідентифікації знайдених точок;
- висока обчислювальна вартість.

Пропонується алгоритм, який вільний від вказаних недоліків.

Опис алгоритму

- 1) Проводиться сегментація вихідного знімка – перехід до бінарного зображення, де 0 відповідає суходолу, 1 – воді.
- 2) Знаходиться декілька характерних об'єктів, таких як острова і моря (назви є дещо умовними). Визначимо острів як 4-зв'язний масив точок, кожна з яких відповідає суходолу, аналогічно, море – зв'язний масив точок, що відповідають воді.
- 3) Зв'язні масиви виділяються за допомогою хвильового алгоритму [1].
- 4) Кожному знайденому об'єкту ставиться у відповідність точка – центр мас його бінарного зображення.
- 5) Кроки 1) – 4) застосовуються для карти, при чому порядок задання відповідних об'єктів повинен співпадати.

Отримані набори опорних точок використовуються для визначення параметрів географічної прив'язки – знаходженні залежності між географічними координатами довільної точки поверхні Землі і відповідного пікселя зображення вихідного зображення [4].

Результати моделювання

Для демонстрації роботи описаного алгоритму використовувався реальний знімок району Егейського моря (Рис. 1).

Чисельне моделювання проводилось у MathCAD 2001 [5].



Рис. 1 Вихідне зображення

Сегментація проводилася пороговим методом – всі точки, інтенсивність яких менша певного порогу вважалися належними воді, інакше – суходолу

$$D_{x,y} = \begin{cases} 0, & F_{x,y} < p \\ 1 & otherwise \end{cases}, \quad (1)$$

$D_{x,y}$

де – матриця бінарного зображення;

$F_{x,y}$ – матриця яскравості вихідного зображення;

$p = 170$ – поріг бінаризації.

Пороговий метод сегментації є найпростішим, але не завжди дозволяє отримати необхідні результати. Доцільно використовувати розклад зображення не на 2 (бінаризація), а на більшу кількість класів (вода, суходіл, хмари тощо). Зробити це можна, розкладаючи гістограму на окремі гаусіани або використовуючи статистичні методи, такі як метод максимальної правдоподібності [2].

Для опорної карти взято зображення, побудоване за даними висот рельєфу (Digital Elevation Models) NOAA [6]. Роздільна здатність карти – $30'' \times 30''$. Бінаризація проводилася аналогічно до (1):

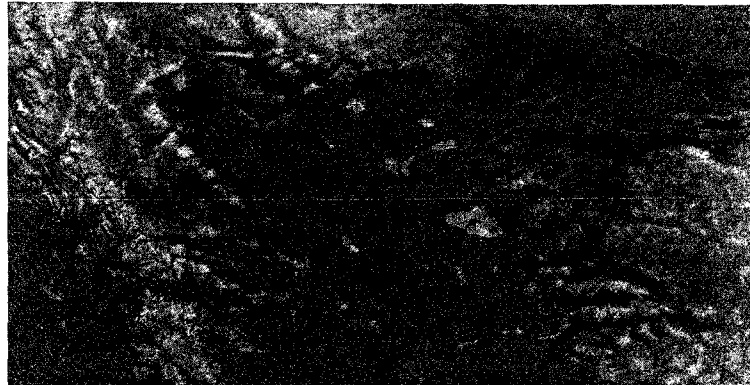
$$D'_{x,y} = \begin{cases} 0, & DEM_{x,y} \leq 0 \\ 1, & otherwise \end{cases}, \quad (2)$$

где $D'_{x,y}$ – матриця бінарного зображення;

$DEM_{x,y}$ – матриця висот рельєфу.



*Мал. 2. Синтезоване псевдокольорове зображення
(хрестами відмічено знайдені опорні точки)*



*Мал. 3 Псевдокольорове зображення карти
(хрестами відмічено відповідні опорні точки)*

Для більшої інформативності синтезовано псевдокольорові зображення (мал. 2, 3) з компонентами

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = 255 \cdot \begin{pmatrix} Obj \\ c(F, p) \\ D \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$Obj_{x,y} = \begin{cases} 1, & F_{x,y} \in \text{виділеним об'єктам} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

введено функцію контрастування

$$c(F, p) = \begin{cases} \frac{F-p}{\max(F)-p}, & F > p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

В якості моделі прив'язки використовувалось перетворення

$$\begin{aligned} x_{\phi\theta} &= a_0 + a_1 \cdot X_{\phi\theta} + a_2 \cdot Y_{\phi\theta} + a_3 \cdot Z_{\phi\theta} \\ y_{\phi\theta} &= b_0 + b_1 \cdot X_{\phi\theta} + b_2 \cdot Y_{\phi\theta} + b_3 \cdot Z_{\phi\theta} \end{aligned} \quad (6)$$

де $(\phi \ \theta)$ – географічні довгота, широта;

a, b – підгоночні параметри, які знаходяться методом найменших квадратів [7];

X, Y, Z – визначаються як

$$X_{\phi\theta} = \cos(\phi) \cos(\theta)$$

$$Y_{\phi\theta} = \sin(\phi) \cos(\theta)$$

$$Z_{\phi\theta} = \sin(\theta)$$

Знайдені опорні точки наведено у таблиці 1.

Обчислені значення коефіцієнтів a, b :

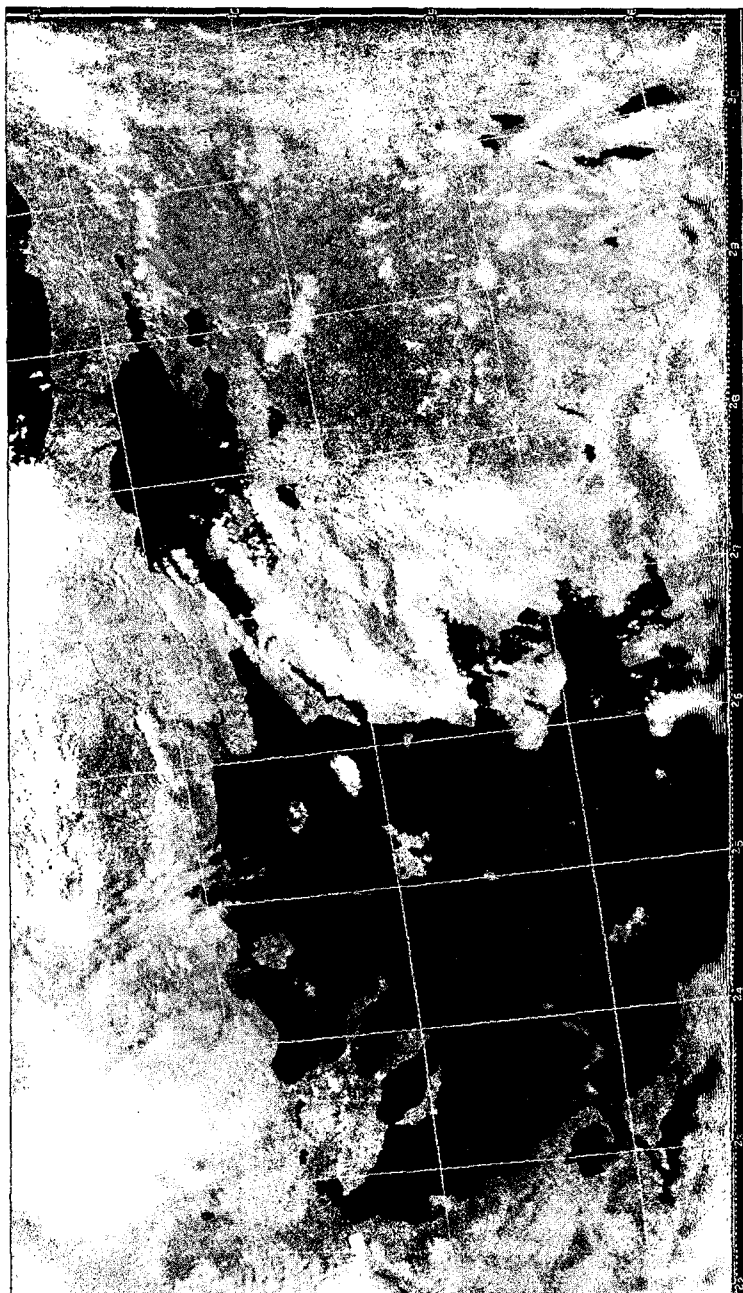
$$a = (5.377 \times 10^3 \quad -7.312 \times 10^3 \quad 8.598 \times 10^3 \quad -4.144 \times 10^3)$$

$$b = (-0.010 \times 10^3 \quad 7.821 \times 10^3 \quad 1.764 \times 10^3 \quad -8.544 \times 10^3)$$

Таблиця

Вихідне зображення, піксели		Карта, градуси. десяти долі градусів	
X	Y	ϕ	θ
379.7	644.6	24.553	38.871
354.7	272.8	24.652	40.697
539.5	352.7	25.839	40.170
494.6	299.2	25.581	40.469
622.7	541.2	26.242	39.178
538.5	680.6	25.580	38.581
455.2	417.3	25.226	39.921
213.1	605.8	23.455	39.179

ал. 4 показано вихідне зображення з нанесеною координатною с



Мал. 4. Вихідне контрастзоване зображення з нанесеною координатною сіткою (повернуто на 90°)

ВИСНОВКИ

Представлено простий ефективний алгоритм знаходження опорних точок по протяжним об'єктам.

Мінімальна кількість точок, що необхідно знайти, дорівнює половині кількості параметрів моделі – 4, для підвищення точності доцільно використовувати 12-16 точок.

Відносна похибка визначення координат – порядку $1/\sqrt{S}$, де S – площа об'єкта.

Головною особливістю даного алгоритму є можливість визначення параметрів моделі прив'язки по зображеннях низької роздільної здатності для визначення географічних координат на високодетальних зображеннях.

Розглядається можливість розробки методів автоматичної прив'язки на основі даного алгоритму, вважається перспективним перехід до конфігураційного 3-вимірного простору, де кожному об'єкту ставиться у відповідність точка (x_c, y_c, \sqrt{S}) .

Література

1. С.І. Клюфас, О.М. Маковейчук. Новий алгоритм визначення опорних точок прив'язки зображень. – матеріали 4-ї міжнародної науково-технічної конференції “Гідротехнологія, навігація, управління рухом та конструювання авіатехніки”, м. Київ, 2003.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. - М.: Мир, 1982. Кн. 1 312 с.: Кн. 2 480 с.
3. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен: Пер.с англ. М.: Мир, 1978. 510с.
4. Непомнящий П. В., Юрин Д. В. Поиск опорных точек на векторных изображениях путем детектирования уголковых структур с помощью статистической оценки гипотез: <http://graphicon2002.unn.ru/demo/2002/gis.html>
5. Эпштейн Ю. С., Гербек Э. Э. Метод точной географической привязки изображений AVHRR NOAA: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/041.pdf>
6. <http://www.mathsoft.com>
7. <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>
8. Дэннис Дж., мл., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 440 с.

Статья поступила в редакцию 15 мая 2003 г.