

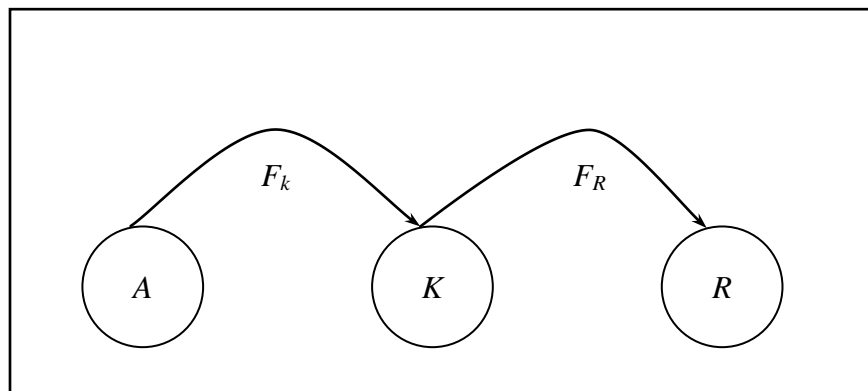
## ТРАНСФОРМУВАННЯ РАСТРОВИХ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВИХ КАРТ І ПЛАНІВ

### Вступ

У сучасних геоінформаційних системах використовуються векторні, растрові та комбіновані растрово-векторні моделі картографічних матеріалів. З-поміж джерел, звідки черпається цифрова картографічна інформація, виділяються існуючі картографічні матеріали. Нинішній стан використання цих матеріалів для створення цифрових моделей місцевості характеризується широким застосуванням растроскануючих технологій. Одне з основних призначень растроскануючої технології—це отримання в результаті сканування вихідного картографічного матеріалу **растрової моделі**. Отримані в такий спосіб моделі використовуються не тільки як джерело для наступної векторизації, але і як самостійна цифрова інформація в геоінформаційних системах. А тому, працюючи з растровими моделями, необхідно забезпечити їхню повну геометричну сумісність з векторними даними. Виходячи з цього, трансформування растрових моделей з метою отримання геометрично коректних цифрових моделей картографічних матеріалів – актуальна проблема.

### Системна модель виготовлення растрових моделей

Будь-яку ділянку місцевості можна зобразити у вигляді змодельованої системи  $A$ . В результаті картографування  $F_k$  місцевості  $A$ , зрештою, заявляється картографічний твір (карта, план, схема), який представляється знаковою символічною моделлю  $K$ . У наслідок сканування  $F_R$  з'являється цифрова растрова модель  $R$ . (див. малюнок)



Системні компоненти процесу виготовлення растрової моделі.

Таким чином, процес виготовлення растрових моделей місцевості на основі наявного картографічного матеріалу можна представити у вигляді орієнтованого графу:

$$G = \{S, F\};$$

де  $S = \{A, K, R\}$ ;  $F = \{F_k, F_R\}$ ; функції  $F$  задають відношення відображення для множин  $A$ ,  $K$ ,  $R$ :

$$F_k : A \rightarrow K; F_R : K \rightarrow R.$$

Процес виготовлення растрової моделі складається з таких операцій:

$$F_R = \langle F_S, F_F, F_T \rangle.$$

де  $F_S$  – функція сканування існуючого картографічного матеріалу та дві функції обробки:  $F_F$  – функція редагування растрового зображення;  $F_T$  – функція геометричного трансформування растрових зображень.

### Функції виготовлення растрових зображень

Функція  $F_S$  сканування наявного картографічного матеріалу залежить від типу сканера та режиму сканування [1]. Сканери бувають планшетні, слайд-сканери, цифрові камери, барабанні або ручні; фотоперетворювачі – CCD, CMOS або PMT. Вони визначають вибір растрових зображень та їхні характеристики. В залежності від вихідного картографічного матеріалу, а також мети обробки вибирається один з таких оптимальних режимів обробки:

- line-art (1 – бітний режим);
- dithered (псевдорастрове зображення);
- grayscale (8 – бітний у відтінках сірого);
- color (кольоровий).

Функція  $F_F$  редагування растрового зображення передбачає різні операції з тонової корекції, вилучення частини зображення та підвищення різкості для покращення фотографічної якості растрового зображення.

У нашій праці растрова модель розглядається як  $R = \langle M, P, r \rangle$ , де  $M$  – матриця цілих чисел;  $P$  – множина (палітра) кольорів;  $r$  – роздільна здатність. Елемент матриці  $M$  – піксел вміщує номер кольору з палітри  $P$ . Цей елемент визначається координатами  $(i, j)$ , де  $i$  – номер рядка у матриці  $M$ ;  $j$  – номер стовпчика [2].

Нерідко виробники сканерів у характеристиках для бітових зображень вказують роздільну здатність у кількостях точок на одиницю довжини – dpi (dot per inch). Але точнішим є визначення роздільної здатності як кількості вибірок на одиницю довжини – spi (samples per inch) або кількості пікселів на одиницю довжини – ppi (pixels per inch). Як правило, для одиниці довжини використовується дюйм. Для урахування роздільної здатності треба брати до уваги два таких моменти. По-перше, треба відрізнити оптичну роздільну здатність та інтерпольовану роздільну здатність. У більшості випадків виробники сканерів зазначають оптичну роздільну здатність як максимальну кількість вибірок на дюйм. Але в деяких випадках вказується максимальна інтерпольована роздільна здатність. По-друге, якщо кроковий двигун сканера пересувається з кроком, що дорівнює щільності розташування датчиків, наприклад, сканер має 300 датчиків на дюйм по горизонталі, пересувається з кроком 1/300 дюйма по вертикалі, то сканер має однакову роздільну здатність по горизонталі та вертикалі. Якщо кроковий двигун пересувається з кроком 1/600 дюйма при тій же кількості датчиків на дюйм і тій же кількості світла, то буде отримано дві різні величини роздільної здатності по вертикалі та горизонталі.

У результаті сканування  $F_S$  кожен піксел накриває елементарну квадратну ділянку вихідного зображення наявного картографічного матеріалу  $K$ . Ця елементарна квадратна ділянка має розмір у дюймах:

$$q = \frac{1}{r}; \quad (1)$$

У цій статті роздільна здатність растрового зображення визначається як кількість пікселів в одному дюймі.

## Геометрична точність растрового зображення

Процес отримання растрового зображення характеризується наявністю трьох факторів, які впливають на геометричну точність растрової моделі  $R$ . До таких факторів відносять:

- деформацію вихідного картографічного матеріалу;
- інструментальні спотворення растрового зображення сканером;
- помилки оператора під час визначення опорних точок.

Втім, усі ці фактори мають випадковий характер та є незалежними один від одного. Тоді середня квадратична помилка  $m_r$  визначення положення точки на растровій моделі  $R$  відносно вихідного картографічного матеріалу  $K$  буде:

$$m_r = \pm \sqrt{m_d^2 + m_s^2 + m_o^2},$$

де  $m_d$   $m_s$   $m_o$  – середні квадратичні помилки відповідно деформації вихідного картографічного матеріалу, інструментального спотворення растрової моделі сканера, помилки оператора в ході визначення контрольних точок. Технічні характеристики вихідного картографічного матеріалу наведено у таблицях 1 та 2.

*Таблиця 1. Види картографічних матеріалів*

Назва картографічного матеріалу	Вид картографічного матеріалу	Матеріал картографічної основи
Складальний оригінал карти	Суміщений Розподілений штриховий Макет фонового забарвлення Напівтоновий	Картографічний пластик, креслярський папір, фотопапір
Видавничий оригінал	Суміщений Розподілений штриховий Напівтоновий Тоновий	Картографічний пластик, картографічний папір, фотоплівка
Тиражний відбиток	Суміщений відбиток карти	Картографічний папір, картографічний пластик
Інший картографічний матеріал	Суміщений Напівтонів Текстовий	Картографічний папір, креслярський папір, фотопапір, гравюра на пластику

*Таблиця 2. Характеристика матеріалу основи*

Вид основи	Характер деформації	Величина деформації	Термін використання
Картографічний пластик	Лінійний	0,3 мм/м – 0,7 мм/м	До 50 років
Картографічний папір	Нелінійний	2 мм/м – 3 мм/м і більше	До 50 років
Креслярський папір	Нелінійний	1 мм/м і більше	До 50 років
Фотопапір	Нелінійний	2 мм/м і більше	До 10 років
Фотоплівка на малodeформованій основі	Нелінійний	3 мм/м	До 2 років

Фотоплівка	Нелінійний	5 мм/м	До 1 року
Грав'юри на пластику	Лінійний	0,3 мм/м – 0,7 мм/м	До 1 року
Планшет на жорсткій основі	Лінійний	0,3 мм/м – 0,7 мм/м	До 50 років

З урахуванням помилок вихідних даних середня квадратична помилка визначення положення точки на растровій моделі  $R$  відносно місцевості  $A$  буде:

$$m_R = \pm \sqrt{m_K^2 + m_r^2},$$

де  $m_K$  – середня квадратична помилка визначення положення точки на вихідному картографічному матеріалі.

Точнісні характеристики топографічних карт наведено у табл. 3.

**Таблиця 3. Точнісні характеристики елементів топографічних карт і планів**

Назва допуску	Середня квадратична помилка, мм
Побудова будь-якої сторони сітки квадратів $m_{Kc}$	0,20
Визначення точок геодезичної основи $m_{Ko}$	0,28
Положення точок контурів та ситуації $m_{Kk}$	0,36
Положення лінії контурів $m_{Kl}$	0,50
Графічна точність - $m_{Kg}$	0,60

### Калібрування скануючих пристроїв та визначення помилок оператора

Для дослідження інструментального спотворення растрової моделі сканера необхідно мати спеціальний калібрувальний засіб. Як такий можна використовувати спеціальний картографічний пластик, на якому високоточними координатографами нанесені координати прямокутної сітки. Порівнюючи координати отриманої растрової моделі з координатами, визначеними координатографом за формулою Гаусса, можна визначити точнісні характеристики конкретного сканера:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta^T \Delta}{n}}; \quad (2)$$

де  $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$ ,  $\Delta_x = (\Delta A_1, \Delta A_2 \dots \Delta A_i)^T$ ;  $\Delta_y = (\Delta A_1, \Delta A_2 \dots \Delta A_i)^T$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  – кількість опорних точок. Тут  $\Delta_{x_i} = x_i^P - x_i^{Tp}$ ;  $\Delta_{y_i} = y_i^P - y_i^{Tp}$ ; де  $x_i^P, y_i^P$  – координати опорних точок на трансформованому растровому зображенні;  $x_i^{Tp}, y_i^{Tp}$  – координати опорних точок геодезичної основи.

Для визначення помилки оператора в ході роботи з пошуку опорних точок необхідно створити віртуальну комп'ютерну регулярну сітку. Для моделювання цього процесу при трансформуванні растрових зображень готову векторну прямокутну сітку необхідно перетворити в еквівалентне растрове зображення – “растерізувати” з заданими технічними характеристиками. Порівнюючи координати опорних точок, що визначені оператором на растровому зображенні, з теоретичними, обчисленими за формулою (2), можна встановити помилку оператора. Якщо припустити, що оператор допустив помилку в один піксел, то, враховуючи формулу (1), гранична помилка оператора при визначенні контрольних точок становитиме:

$$\Delta_o = \frac{l}{r}.$$

Наприклад, при застосуванні сканера Eagle4050 для виготовлення растрових зображень з роздільною здатністю  $r=500$  ррi гранична помилка оператора в ході визначенні опорних точок складає 0,51 мм.

### Методи трансформування растрових зображень

Вихідними даними для трансформування растрових зображень є опорні точки  $P_1, P_2, \dots, P_n$  з області  $D$ , координати яких відомі в глобальній системі координат  $XOY$  вихідного картографічного матеріалу та в системі координат  $UOV$  растрового зображення. Координати опорних точок у системі координат  $XOY$  вихідного картографічного матеріалу задаються вектором  $xu = (xu_1, xu_2, xu_3, \dots, xu_n)^T$ ,  $xu_i = (x_i, y_i)^T$ . Координати тих самих опорних точок у системі координат  $UOV$  растрового зображення представляються вектором  $uv = (uv_1, uv_2, uv_3, \dots, uv_n)^T$ ,  $uv_i = (u_i, v_i)^T$ .

Трансформування растрових зображень – це процес побудови функцій  $F_T$  глобальної або локальної інтерполяції та колокації на площині. Допускається, що ця функція  $F_T$  має певну гладкість на площині в заданій області  $D$ . Характеристична вимога трансформування растрових зображень (як задачі інтерполяції та колокації, яка виділяє їх із загального класу задач апроксимації) полягає в тому, що значення приблизно відновленої функції в точках інтерполяції, тобто значення вихідних функціоналів на приблизно відновленій функції, повинні точно збігатися із заданими числами:

$$xu_1 = F_T(uv_1), xu_2 = F_T(uv_2), \dots, xu_n = F_T(uv_n). \quad (3)$$

Побудована з вимогою (3) функція  $F_T$  забезпечить точне повернення опорних точок  $P_i \in D$  спотвореного растрового зображення до теоретичних значень координат  $xu = (xu_1, xu_2, xu_3, \dots, xu_n)^T$ . Такими опорними точками є, як правило, точки математичної основи картографічних матеріалів: вузли географічної або прямокутної сітки, точки геодезичної основи. У першому випадку сукупність точок географічної або прямокутної сіток задають регулярну модель трансформування, а в другому точки геодезичної основи задають хаотичну модель трансформування. Складність рішення трансформування растрових зображень суттєво залежить від конфігурації вузлів сітки.

В сучасних повнофункціональних геоінформаційних системах можна виділити такі методи трансформування растрових зображень:

- конформне трансформування Гельмерта;
- афінне перетворення;
- інтерполяційні поліноми другого та вище порядків;
- проєктивні методи;
- інтерполяція кубічними сплайнами;
- метод кінцевих елементів.

Вибираючи метод трансформування растрових зображень, особливу увагу слід звертати на оптимальну кількість опорних точок.

### Оцінка точності

Оцінку точності побудованих растрових моделей необхідно здійснювати по контрольних точках, які не були включені в сукупність опорних точок. Як правило, для трансформування растрових зображень використовується регулярна сітка, тому для одержання достовірної оцінки точності кожного окремого планшету за контрольні точки можна обирати пункти геодезичної мережі, координовані кути будівель та інші точки з

відомими координатами. Середня квадратична помилка одиниці ваги визначається за формулою Гаусса.

### Висновки

Розглянуто методику трансформування растрових зображень, що забезпечує виготовлення растрових моделей, геометрично суміщених з векторними моделями. Запропоновано трансформування растрових зображень виконувати методами глобальної та локальної інтерполяції та колокації на площині, які забезпечують точне проходження побудованих функцій через опорні точки.

Оцінку точності необхідно виконувати по контрольних точках, не включених до числа опорних, по яких відбувалося трансформування растрових зображень.

### Література

1. Блатнер Д., Флейшман Г., Рот С. Сканирование и растривание изображений / Пер. с англ. – М.: Изд-во “ЭКОМ”, 1999. – 400 с.
2. Слесаренко А. В. Оценка точности при сканировании планшетов // ГИС – информационный бюллетень. – 1999. – №1(18). – С. 62-63.

---

*Ю. А. Карпинский, А. Г. Грачев*

## ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ РАСТРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ

### Резюме

Рассматриваются системная модель изготовления растровых изображений, их составляющие функции и геометрическая точность, методы трансформирования растровых моделей, обеспечивающие точное прохождение построенных функций через опорные точки. Предлагается технология калибровки сканирующих устройств и способ определения личной ошибки оператора.

*J. Karpinsky, O. Grachev*

## THE RASTER IMAGES TRANSFORMING

### Summary

Considered system model of raster images, their forming functions and geometric accuracy of raster models, methods of transforming the raster models and evaluation of their accuracy. Offered technology of calibration of scanning devices and way of determination of personal operator error.

Науково-дослідний інститут геодезії  
та картографії  
Тел.: (044) 227 06 84  
Факс: (044) 227 36 85  
E-mail: gki@rql.net.ua

Надійшла 10.11.2000