

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ВІДТВОРЕННЯ АЕРОФОТОЗНІМКІВ ПРИ ПОВОРОТІ НА ЗАДАНИЙ КУТ

*Обґрунтовано використання інтерполяційних методів на основі локальних поліноміальних сплайнів близьких до інтерполяційних у середньому у задачі повороту аерофотознімків*

На сьогоднішній день в Україні ведеться активна розробка безпілотних повітряних суден (БПС) малого та середнього типу. Окрім питань пов'язаних безпосередньо з конструкцією та характеристиками літальних апаратів, актуальним є питання обробки даних аерофотозйомки з борту БПС.

Аерофотозйомка може бути плановою або перспективною: при плановій зйомці камера направлена вертикально вниз, під прямим кутом до поверхні Землі, на знімках можна побачити ортогональну проєкцію місцевості; при перспективній зйомці камера направлена під кутом до горизонту.

Фотоплан – це план місцевості, змонтований зі знімків, що отримано при плановій аерофотозйомці. Фотоплани можуть використовуватись при побудові реалістичних тривимірних моделей місцевості [1], при створенні геоінформаційних систем (ГІС), тощо. Такі інструменти дозволяють проводити аналіз різних природних явищ та використовуються у багатьох галузях діяльності людини, наприклад: національна безпека, геодезія та картографія, керування ризиками надзвичайних ситуацій, оперативна ліквідація наслідків стихійних лих, охорона і раціональне використання навколишнього середовища, управління транспортом, оцінка природних ресурсів тощо.

Оскільки при плановій зйомці масштаб знімків буде однаковий, а кут напрямку зйомки – різний, для створення фотоплану виникає задача повороту знімків.

Нехай знімок подано у вигляді растрового зображення. Позначимо  $\{p_{i,j}\}_{i=1,\overline{n};j=1,\overline{m}}$  - послідовність кольорових складових піксела (червона, зелена, чи синя – RGB) початкового растру;  $n, m$  - розміри растру;  $N = n \cdot m$  - кількість пікселів растру;  $(\bar{x}, \bar{y})$  - координати центру.

$\{\hat{p}_{i,j}\}_{i=1,\overline{\hat{n}};j=1,\overline{\hat{m}}}$  - послідовність кольорових складових піксела відтвореного растру;  $\hat{n}, \hat{m}$  - розміри растру;  $\hat{N} = \hat{n} \cdot \hat{m}$  - кількість пікселів відтвореного растру.

Поворот будь-якої точки  $(i, j)$  вихідного растру навколо точки  $(\bar{x}, \bar{y})$  на кут  $\theta$  задається формулами [2]:

$$\hat{x}_{i,j} = (i - \bar{x}) \cos \theta + (j - \bar{y}) \sin \theta, \quad \hat{y}_{i,j} = -(i - \bar{x}) \sin \theta + (j - \bar{y}) \cos \theta.$$

де  $(\hat{x}, \hat{y})$  - координати точки після повороту.

Обернене перетворення точки  $(\hat{i}, \hat{j})$  в точку  $(x, y)$  :

$$x_{\hat{i}, \hat{j}} = \hat{i} \cdot \cos\theta - \hat{j} \cdot \sin\theta + \bar{x}, \quad y_{\hat{i}, \hat{j}} = \hat{i} \cdot \sin\theta + \hat{j} \cdot \cos\theta + \bar{y}.$$

Алгоритм відтворення зображення, що повернене на кут  $\theta$  :

1. Знаходимо  $\hat{n}$  та  $\hat{m}$  - лінійні розміри нового зображення.

Для цього визначасмо мінімальні та максимальні значення  $\hat{X}$  та  $\hat{Y}$ , тоді  $\hat{n} = \max(\hat{x}) - \min(\hat{x})$ ;  $\hat{m} = \max(\hat{y}) - \min(\hat{y})$ ;

2. Для кожної точки  $\min(\hat{x}) \leq \hat{i} \leq \max(\hat{x})$ ;  $\min(\hat{y}) \leq \hat{j} \leq \max(\hat{y})$  визначасмо пару  $(x_{\hat{i}, \hat{j}}, y_{\hat{i}, \hat{j}})$  - координати відповідного пікселя вихідного зображення.

3. Знаходимо значення кольорової складової пікселя у точці  $(x_{\hat{i}, \hat{j}}, y_{\hat{i}, \hat{j}})$  за допомогою методів апроксимації.

У якості метода апроксимації було запропоновано методи, засновані на властивостях локальних поліноміальних сплайнів [3].

На рис. 1 наведено приклад повороту аерофотознімки на  $45^\circ$  при реалізації вищезгаданого алгоритму у розробленому авторському програмному забезпеченні.

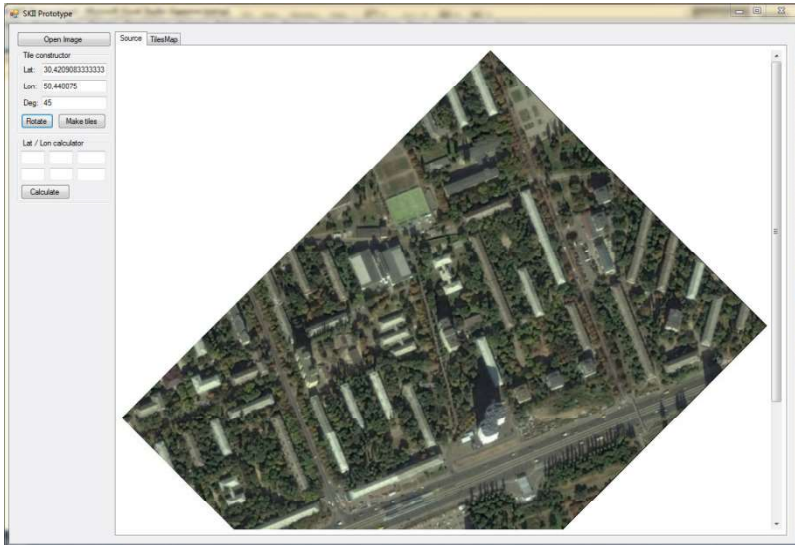


Рисунок 1. Поворот зображення на  $45^\circ$ .

Для оцінки якості відтворення аерофотознімків було проведено 4 експерименти, в кожному з яких зображення в кілька етапів було повернуте загальною на  $360^\circ$ :

1. Повертання 6 разів на  $60^\circ$ .
2. Повертання 8 разів на  $45^\circ$ .
3. Повертання 12 разів на  $30^\circ$ .
4. Повертання на кути  $36^\circ$ ,  $151^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $57^\circ$  та  $50^\circ$ .

Для апроксимації значень пікселів були використані метод найближчого сусіда (МНС) та методи на основі двовимірного сплайну  $S_{2,1}$  [3].

Експерименти було проведено для 600 знімків. При підрахунку результатів кожна кольорова складова оброблялась як окреме зображення.

Для вирішення питання оцінки якості відтворення зображення після обробки використано підходи, що базуються на статистичних оцінках різниці початкового та кінцевого зображення: значення відносної похибки та міри відношення сигналу до шуму.

Похибка відтворення зображення в кожному пікселі визначається так:

$$\varepsilon_{i,j} = \left| \hat{p}_{i,j} - p_{i,j} \right|, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

тоді середня похибка відтворення по кожній складовій дорівнює

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varepsilon_{i,j};$$

середньоквадратичне відхилення похибки -

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\varepsilon_{i,j} - \bar{\varepsilon})^2};$$

відносна похибка:

$$\Delta_\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\varepsilon_{i,j}}{p_{i,j}} \cdot 100\%.$$

Міра відношення сигналу до шуму (peak-to-peak signal-to-noise ratio,  $PSNR$ ) визначає співвідношення між максимумом можливого значення сигналу та потужністю шуму, що спотворює значення сигналу. Більше значення  $PSNR$  відповідає менш зачумленому зображенню.

$$PSNR = 10 \cdot \lg \frac{255^2}{\sigma_\varepsilon^2} = 10 \cdot \frac{1}{\ln 10} \cdot \ln \frac{255^2}{\sigma_\varepsilon^2}.$$

У таблиці 1 представлено отримані усереднені значення та дисперсії відносної похибки та  $PSNR$  для кожного з експериментів при використанні різних методів апроксимації.

Таблиця 1.

## Результати експериментів

№	апроксимація	$\Delta_\varepsilon$		PSNR	
		середнє	дисперсія	середнє	дисперсія
1	MHC	5,58652	2,14121	30,60073	1,22969
	$S_{2,1}$	3,39394	1,23866	40,99732	0,81765
2	MHC	10,33093	4,01173	28,12074	1,16246
	$S_{2,1}$	3,98956	1,42934	39,72852	0,84757
3	MHC	14,01578	5,48229	26,56913	1,13369
	$S_{2,1}$	5,39129	1,8088	37,49608	0,88724
4	MHC	15,63783	6,20988	26,58152	1,06497
	$S_{2,1}$	13,46843	5,17041	28,87307	1,0159

**Висновки**

Аналізуючи результати проведених експериментів можна зробити наступні висновки:

1. Для більш якісного відтворення аерофотознімків, слід використовувати алгоритми апроксимації на основі локального сплайну  $S_{2,1}$  (або сплайнів вищих порядків), оскільки найменше значення відносної похибки та найбільше значення PSNR було отримано при використанні цього алгоритму.

2. Кут повороту суттєво впливає на результати відтворення зображення. В експериментах 1 та 4 кількість поворотів однакова, проте похибка у випадку різних кутів більша.

**Список літератури**

1. Приставка П. О. Інформаційна технологія моделювання рельєфу місцевості із прив'язкою даних аерокосмічної фотозйомки / П. О. Приставка, С. П. Нічіков // Наукоємні технології. ISSN 2075-0781. – № 3 (15) – К.: НАУ, 2012 – С. 52-57.

2. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. - М.: Мир, 2001. – 604с., ил.

3. Приставка П. О. Поліноміальні сплайни при обробці даних: Монографія. - Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236 с.