

УДК 629.78

І.А. Кухарський

Військова частина А0515

### АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН ОБ'ЄКТІВ РОЗВІДКИ

*У статті приведений кореляційно-екстремальний алгоритм виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки за результатами аналізу векторизованих даних авіаційно-космічного спостереження. Запропонований алгоритм дозволяє автоматизувати процес виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки. Наведено приклад роботи алгоритму.*

**Ключові слова:** авіаційно-космічне спостереження, розвідка, зміна параметрів.

#### Вступ

На сучасному етапі для вирішення цільових задач об'єктового моніторингу широко використовуються дані авіаційно-космічного спостереження. Однією з тенденцій щодо підвищення ефективності використання зазначених даних є автоматизація етапу їх обробки, що дозволяє знизити вплив суб'єктивного фактору на кінцеві результати обробки та значно підвищити оперативність такої обробки. Зокрема, важлива автоматизація процесу визначення просторово-часових змін об'єктів розвідки.

**Аналіз останніх досліджень.** Широке розповсюдження у системах які вирішують завдання визначення просторово-часових змін об'єктів розвідки на основі аналізу даних авіаційно-космічного спостереження отримали підходи, що використовують поряд з растровими – векторні моделі. Це обумовлено тим, що векторне представлення у порівнянні з растровим мають ряд переваг: при зберіганні векторні файли займають менший (в  $10^2$  –  $10^3$  разів) об'єм пам'яті, ніж растрові оригінали; векторні рисунки

легко редагуються; масштабування і трансформація векторного зображення відбувається без спотворень [5]. Таким чином, векторний аналог растрового зображення у багатьох випадках значно спрощує подальший автоматизований аналіз з використанням спеціалізованих програм [1].

До основних просторово-часових змін об'єктів розвідки відноситься: факт наявності (відсутності) об'єкту розвідки; переміщення об'єкту розвідки (пересування, обертання); змінення контуру об'єкту розвідки [4].

Автоматизоване виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки проводиться з використанням спеціалізованих програм у яких реалізовані відповідні алгоритми. Усі підходи щодо автоматизованого виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки використовують положення низки загальних теорій розпізнавання образів та сегментації зображень.

**Формулювання мети статті.** Одним з найпростіших та найпоширеніших підходів для вирішення завдання виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки за результатами аналізу растрових

даних авіаційно-космічного спостереження використовуються кореляційно-екстремальні алгоритми [2, 5]. Однак застосувати класичний растровий кореляційно-екстремальний алгоритм до векторних моделей без спеціального доопрацювання, неможливо. Зазначене доопрацювання повинно враховувати особливості саме векторних моделей подання даних авіаційно-космічного спостереження.

Виходячи із вищевикладеного, **метою статті** є розробка кореляційно-екстремального алгоритму виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки за результатами аналізу векторизованих даних авіаційно-космічного спостереження.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо кореляційно-екстремальний алгоритм для растрових моделей даних авіаційно-космічного спостереження.

Дано: растрове зображення (данні авіаційно-космічного спостереження)  $f_{ij}$ , на якому в околиці  $D_{kl}$  поточного  $(i, j)$ -го пікселю присутній одиничний об'єкт, що підлягає виділенню (імпульс складної форми)  $s_{ijkl}$ . При цьому розмір околиці  $D_{kl}$  повинний бути не менший за розмір об'єкту  $s_{ijkl}$  та положення околиці  $D_{kl}$  на зображенні, яке залежить від положення об'єкту  $s_{ijkl}$  на зображенні є також відомою. Таким чином  $D_{kl}$  однозначно накриває  $s_{ijkl}$ ;

ідеальна форма растрового об'єкту  $s_{ijkl}$  (еталонний імпульс). Вважатимемо, що амплітуда (максимальне значення) еталонного імпульсу  $s_{ijkl}$  рівна одиниці;

адитивний шум  $\xi_{ijkl}$  який накладається на пікселі, що спостерігається  $f_{ij}$ , має випадковий характер та нормальний закон розподілу. До  $\xi_{ijkl}$  можна віднести, насамперед, похибки вимірювань.

Необхідно: оптимальним образом визначити присутній чи ні об'єкт в околиці  $D_{kl}$ .

Таким чином, модель растрового зображення що спостерігається має вигляд [2, 6]

$$f_{ij} + \xi_{ijkl} = h_{kl}s_{ijkl}, \quad (1)$$

де  $h_{kl}$  – амплітуда імпульсу  $s_{ijkl}$  на растровому зображенні.

У такій постановці задача визначення просторово-часових змін на растровому зображенні зводиться до визначення  $h_{kl}$ , яке потім порівнюється з заздалегідь заданим порогом. Якщо  $h_{kl}$  перевищує поріг, приймається рішення про наявність об'єкту  $s_{ijkl}$  у поточній околиці  $(i, j) \in D_{kl}$ . При такій по-

становці можна прийняти, що похибки (1) є нормальними та некорельованими. З цього випливає, що середньоквадратична похибка апроксимації після визначення  $h_{kl}$  буде мати вигляд [3]

$$\Phi_{kl} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in D} \xi_{ijkl}^2 = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in D} (f_{ij} - h_{kl} \cdot s_{ijkl})^2, \quad (2)$$

де  $N$  – кількість точок в околиці  $D_{kl}$ .

Умова мінімуму  $\Phi_{kl}$  записується як [3]

$$\frac{\partial \Phi_{kl}}{\partial h_{kl}} = 0. \quad (3)$$

Такий підхід (1) – (3) є оптимальним в розумінні мінімуму середньоквадратичної похибки апроксимації

$$h_{kl} = \frac{\sum_{(i,j) \in D} f_{ij}s_{ijkl}}{\sum_{(i,j) \in D} s_{ijkl}^2}. \quad (4)$$

Знаменник цього виразу – константа, а числитель пропорційний коефіцієнту кореляції еталонного імпульсу  $s_{ij}$  та вихідного зображення  $f_{ij}$ . Звідки випливає, що в якості міри наявності об'єкту у поточній околиці можна обрати коефіцієнт кореляції  $r_{sf}$  між  $s_{ij}$  та  $f_{ij}$ :

$$(r_{sf})_{kl} = \frac{\sum_{(i,j) \in D} f_{ij}s_{ijkl}}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in D} s_{ijkl}^2 \sum_{(i,j) \in D} f_{ij}^2}}. \quad (5)$$

При такій постановці слід здійснити пошук локальних екстремумів  $(r_{sf})_{kl}$  для різного положення еталонного імпульсу та для різних еталонних імпульсів (провести перебір для декількох еталонів). У тому числі проводиться пошук для одного еталону, але який має різні визначені просторово-часові зміни, наприклад поворот чи зсув. Далі необхідно порівняти отримане значення із заздалегідь обраним порогом, на основі чого можна приймати рішення про наявність чи відсутність об'єкту з визначеними просторово-часовими змінами у поточній околиці зображення. Даний підхід реалізує кореляційно-екстремальний алгоритм для растрового зображення.

Для того, щоб трансформувати вищенаведений традиційний растровий кореляційно-екстремальний алгоритм виявлення просторово-часових змін (5) до векторних моделей необхідно врахувати їх особливість: векторні моделі еталонного імпульсу  $s_{xyzw}$  та вихідного зображення (векторизовані данні авіаційно-космічного спостереження)  $f_{xy}$  мають на відміну від растрових не піксельну (дискретну) а координатну (безперервну) структуру.

Внаслідок зазначеної особливості:

по-перше, околиця  $D_{kl} (i, j)$ -го пікселю трансформується в околицю  $D_{zw}$  досліджуваної точки із визначеними координатами  $(x, y)$ ;

по-друге, сума (для дискретного растру) змінюється на інтеграл (для безперервного вектору);

по-третє, вираз який визначає середнє квадратичне відхилення для векторної моделі можна подати у вигляді  $\sqrt{\int_{(x,y) \in D_{zw}} f_{xy} dx dy}$ .

Таким чином, коефіцієнт кореляції для векторної моделі запишеться у вигляді:

$$(r_{sf})_{zw} = \frac{\int_{(x,y) \in D_{zw}} f_{xy} s_{xyzw} dx dy}{\sqrt{\int_{(x,y) \in D_{zw}} f_{xy} dx dy \int_{(x,y) \in D_{zw}} s_{xyzw} dx dy}} \quad (6)$$

Для реалізації розрахунку за виразом (6) на ПЕОМ необхідно провести дискретизацію цього виразу [7]. Тобто перейти до обчислення наближеного значення визначеного інтегралу через скінчену суму. Такий перехід внесе деякі похибки, але якщо інтервал дискретизації буде достатньо дрібним то похибками дискретизації можна знехтувати. З врахуванням зазначеного для рівномірної обчислювальної сітки дискретний кореляційно-екстремальний алгоритм виявлення просторово-часових змін для векторизованих даних авіаційно-космічного спостереження буде мати вигляд

$$(r_{sf})_{zw} \approx \frac{\frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in D} f_{xy} s_{xyzw}}{\sqrt{\frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in D} s_{xyzw} \frac{1}{M^2} \sum_{(x,y) \in D} f_{xy}}} \Rightarrow (r_{sf})_{zw} \approx \frac{\sum_{(x,y) \in D} f_{xy} s_{xyzw}}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in D} s_{xyzw} \sum_{(x,y) \in D} f_{xy}}}, \quad (7)$$

де  $f_{xy}, s_{xyzw}$  – функція належності точки  $(x, y)$  до внутрішньої області, що обмежує відповідний вектор:

$$f_{xy} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } (x, y) \in \text{вектору} \\ 0, & \text{якщо } (x, y) \notin \text{вектору} \end{cases}$$

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } (x, y) \in \text{еталонному вектору} \\ 0, & \text{якщо } (x, y) \notin \text{еталонному вектору} \end{cases}$$

Результати роботи алгоритму при суміщенні еталонного та векторизованого зображень

СКВ, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$(r_{sf})_{zw}$	1,00	0,92	0,90	0,83	0,81	0,77	0,76	0,73	0,69

Виходячи з наведених у табл. 1 даних, можна зробити висновок, що розроблений алгоритм дозволяє розраховувати коефіцієнт кореляції векторизованих даних

$M$  – кількість точок дискретизації в околиці  $D_{zw}$ .

Вираз (7) є кореляційно-екстремальним алгоритмом виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки за результатами аналізу векторизованих даних авіаційно-космічного спостереження.

**Приклад.** Розглянемо роботу розробленого алгоритму (7) для векторної моделі літака. В якості просторово-часових змін використовується обертання відносно центру зображення з подальшим зсувом у координатній площині відносно еталону. Приклад зазначених змін для векторизованого зображення літака наведено на рис. 1.

Таким чином для отримання параметрів, які визначають просторово-часові зміни об'єкту розвідки, необхідно таким чином перетворити еталонний вектор щоб він максимально наклав векторизоване зображення.

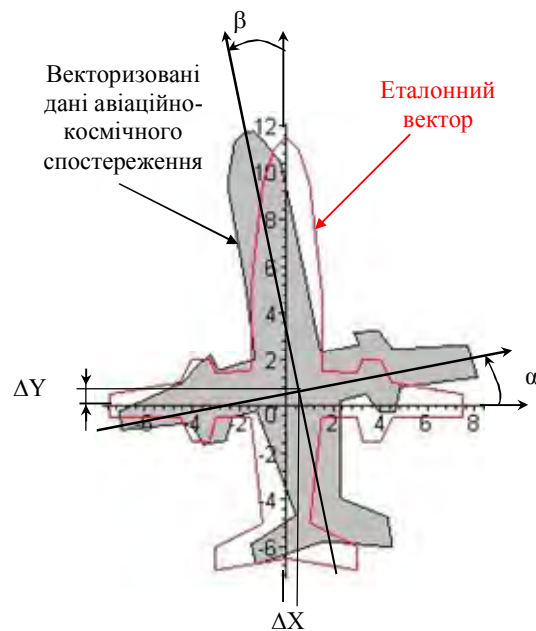


Рис. 1. Приклад зазначених змін для векторизованого зображення літака

Результати роботи алгоритму при суміщенні еталонного та векторизованого зображень наведено у табл. 1, де СКВ – середнє квадратичне відхилення шуму визначення координат вершин вектору яке визначене у відсотках до максимального лінійного розмаху усього вектору.

Таблиця 1

авіаційно-космічного спостереження та еталону. Якщо обрати поріг, то стає можливим приймання рішення про виявлення просторово-часових змін об'єкту.

## Висновки

У статті наведено кореляційно-екстремальний алгоритм виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки за результатами аналізу векторизованих даних авіаційно-космічного спостереження. Запропонований алгоритм дозволяє автоматизувати процес виявлення просторово-часових змін об'єктів розвідки.

## Список літератури

1. Андрианов В. Координаты пространственных данных / В. Андрианов // *Современные геоинформационные технологии. ArcReview.* – 2001. – № 2(17). – С. 15-19.
2. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б.В. Анисимов, В.Д.Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высшая школа., 1983. – 295 с.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. Карпович И.Н. Военное дешифрование аэроснимков / И.Н. Карпович. – М.: Воениздат, 1990, с. 12 - 63.
5. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учебное пос. / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин.. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
6. Лурье И.К. Теория и практика цифровой обработки изображений. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / И.К. Лурье, А.Г. Косиков; под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
7. Самарский А.А. Численные методы: учеб. пособие / А.А. Самарский, А.В. Гулин– М.: Наука. 1989. – 432 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЪЕКТОВ РАЗВЕДКИ

И.А. Кухарский

В статье приведен корреляционно экстремальный алгоритм выявления пространственно-временных изменений объектов разведки по результатам анализа векторизованных данных авиационно-космического наблюдения. Предложенный алгоритм позволяет автоматизировать процесс выявления пространственно-временных изменений объектов разведки. Приведен пример работы алгоритма.

**Ключевые слова:** авиационно-космическое наблюдение, разведка, изменение параметров.

## ALGORITHM OF CALCULATION OF PARAMETERS OF SPATIO-TEMPORAL CHANGES OF OBJECTS OF SECRET SERVICE

I.A. Kukharskiy

The extreme algorithm of exposure of spatio-temporal changes of objects of secret service on results the analysis of the vectorized information of air-space supervision is resulted in the article cross-correlation. The offered algorithm allows to automatize the process of exposure of spatio-temporal changes of objects of secret service. The example of work of algorithm is resulted.

**Keywords:** air-space supervision, secret service, change of parameters.