

Г.В. Худов, А.П. Гурін, О.О. Гурін, Б.А. Лісогорський, А.В. Пономарь

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ АНОМАЛІЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Анотація

Доповідь присвячена удосконаленому методу виявлення спектральних аномалій на зображеннях, що спостерігаються за допомогою бортової оптико-електронної системи дистанційного зондування. Під спектральною аномалією слід розуміти область невеликого розміру на зображенні, спектральні відмінності пікселів якої суттєво відрізняються від оточуючої її фону. Метод передбачає поділ зображення на області однакового розміру та оцінку спектральної відмінності кожної області (потенційної аномалії) відносно іншої частини зображення (потенційного фону) за допомогою інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера. Рішення про наявність спектральної аномалії приймається для області, дивергенція (спектральна відмінність) якої відносно іншої частини зображення є найбільшою. При визначенні декількох ділянок зображення з високими показниками дивергенції слід додатково їх дослідити із застосуванням визначених методів з метою більш точного визначення положення спектральної аномалії.

Ключові слова: дивергенція Кульбака-Лейблера, оптико-електронна система, виявлення спектральних аномалій зображень, спектральний склад зображення.

Abstract

The report is devoted to the improved of the method of detection of spectral anomalies on images observed with the help of an on-board electro-optical remote sensing system. A spectral anomaly should be understood as a small area in the image, the spectral differences of pixels of which are significantly different from the surrounding background. The method involves dividing the image into areas of the same size and estimating the spectral difference of each area (potential anomaly) relative to another part of the image (potential background) using Kullback-Leibler information divergence. The decision about the presence of a spectral anomaly is made for the area whose divergence (spectral difference) relative to the rest of the image is the largest. When determining several areas of the image with high divergence indicators, they should be additionally investigated using the specified methods in order to more accurately determine the position of the spectral anomaly.

Keywords: Kullback-Leibler divergence, electro-optical system, detection of spectral anomalies in images, spectral composition of an image.

Вступ

Аналіз динаміки процесу виявлення об'єкту за спектральними ознаками показав, що на початковому етапі виявлення, коли відомі спектральні характеристики фону, а спектральні характеристики об'єкта інтересу не відомі, доцільно використовувати виявлювач аномалій.

За останній час було створено ряд методів виявлення спектральних аномалій. Однак, жоден з них не є оптимальним [1]. Тому завдання, що полягає в удосконаленні методу виявлення спектральних аномалій, що забезпечує поліпшені характеристики, є актуальним.

Метою роботи є удосконалення методу виявлення спектральних аномалій на основі інформаційної міри віддаленості один від одного ймовірнісних розподілів – інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера, в інтересах поліпшення характеристик систем дистанційного зондування.

Результати дослідження

Для виявлення спектральних аномалій у роботі [2] було розроблено метод поділу досліджуваних зображень на області однакового розміру для пошуку області з найбільшою спектральною відмінністю відносно іншої частини зображення з метою пошуку спектральної аномалії.

Метод включає наступні операції:

– в результаті реєстрації випромінювання деякого предметного простору формується цифрове RGB зображення. Відповідно до кольорової моделі RGB кожен елемент кольорових зображень з координатами (i, j) представляється у вигляді вектору $\vec{X}_{i,j} = [x_R(i, j), x_G(i, j), x_B(i, j)]^T$ в тривимірному евклідовому просторі, де x_R, x_G, x_B – значення яскравості, які виміряні в червоному (R-red), зеленому (G-green) та синьому (B-blue) спектральних каналах [3];

– RGB зображення умовно поділяється на області однакового розміру, яким надаються умовні позначення;

– розраховується відмінність кожної із областей зображення (потенційної аномалії) відносно іншої частини зображення (потенційного фону).

Відмінність розраховуються на основі показників спектральних характеристик: вектор математичного очікування фону розраховуються за допомогою виразу [4]:

$$\vec{\mu}_B = \frac{1}{b} \sum_{K=1}^b \vec{X}_K, \quad (1)$$

де \vec{X}_K – тривимірний вектор K -го елемента репрезентативної вибірки фону; b – кількість елементів репрезентативної вибірки фону;

Відповідно, відомості про спектральні характеристики сигналу області зображення з об'єктом пошуку – потенційною аномалією (вектор математичного очікування аномалії), розраховуються за допомогою виразу:

$$\vec{\mu}_A = \frac{1}{t} \sum_{A=1}^t \vec{X}_A, \quad (2)$$

де \vec{X}_A – тривимірний вектор A -го елемента репрезентативної вибірки ділянки зображення з потенційною аномалією; t – кількість елементів репрезентативної вибірки ділянки зображення з потенційною аномалією.

Для визначення спектральної відмінності кожної області зображення відносно іншої частини зображення слід визначити наскільки інформаційна ентропія одного розподілу (належить до області з потенційною аномалією) відрізняється від ентропії іншого розподілу (іншої частини зображення – потенційного фону). Для рішення цієї задачі запропоновано використати інформаційну дивергенцію Кульбака-Лейблера, яка за результатами порівняльного аналізу показала найвищу ефективність відносно методів на основі відстані Евкліда, відстані Махаланобіса та контрасту яскравості [2].

Вираз розрахунку дивергенції Кульбака-Лейблера, має наступний вигляд [4]:

$$D = \frac{1}{2} \left[\vec{\xi}^T (\Gamma_A^{-1} + \Gamma_B^{-1}) \vec{\xi} + \text{tr}(\Gamma_A \Gamma_B^{-1} + \Gamma_B \Gamma_A^{-1} - 2I) \right]; \quad (3)$$

де $\vec{\xi} = \vec{\mu}_A - \vec{\mu}_B$ – вектор різниці математичних очікувань класів ω_A та ω_B ; I – одинична матриця; $\text{tr}(\bullet)$ – слід матриці; Γ_A та Γ_B – кореляційні матриці класів ω_A та ω_B ;

– прийняття рішення про наявність спектральної аномалії для області зображення, показник дивергенції (спектральної відмінності) якої виявиться найбільшим.

На зображенні (рис. 1) наведений принцип виявлення спектральної аномалії зображень. У наведеному прикладі (рис. 1) спектральна аномалія присутня в області зображення №8, а частина зображення для обчислення спектральних характеристик умовного фону складається з областей №1-7 та №9.

У випадку визначення декількох ділянок з потенційними аномаліями за найбільшими показниками обраного критерію пропонується скоротити область зображення для аналізу та провести повторні розрахунки.

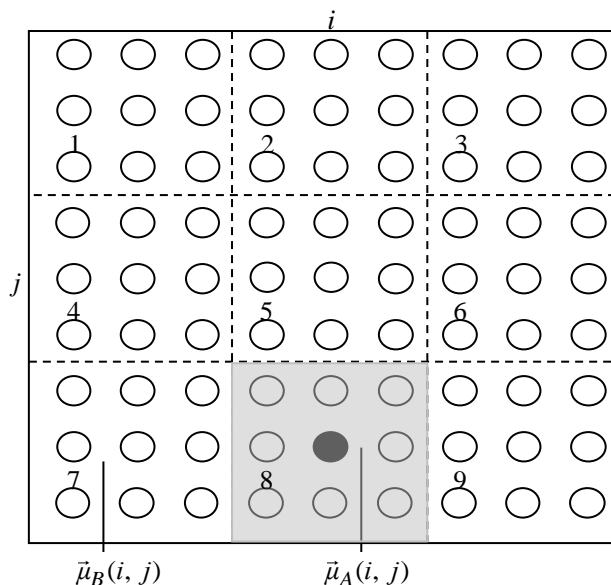


Рис. 1. Принцип виявлення спектральних аномалій зображень

Слід зауважити, що оскільки в розрахунках показників оточуючого фону приймають участь усі області зображення окрім області з гіпотетичною аномалією, то для ефективного застосування розглянутого методу слід ввести обмеження – усі елементи оточуючого фону мають бути близькими за спектральною яскравістю. Цій умові можуть відповідати випадки вирішення наступних завдань: пошук об'єкту в полі, пошук надводного об'єкту на морській поверхні, пошук об'єкту в засніженій місцевості під час рятувальної операції, пошук об'єкту певного кольору серед різнокольорових об'єктів тощо.

Висновки

Доповідь присвячена удосконаленому методу виявлення спектральних аномалій на зображеннях, що спостерігаються за допомогою бортової оптико-електронної системи дистанційного зондування. Під спектральною аномалією слід розуміти область невеликого розміру на зображенні, спектральні відмінності пікселів якої суттєво відрізняються від оточуючої її фону. Метод передбачає поділ зображення на області однакового розміру та оцінку спектральної відмінності кожної області (потенційної аномалії) відносно іншої частини зображення (потенційного фону) за допомогою інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера. Рішення про наявність спектральної аномалії приймається для області, дивергенція (спектральна відмінність) якої відносно іншої частини зображення є найбільшою.

Список використаних джерел

1. Borghys D., Achard V., Rotman S.R., Gorelik N., Perneel C., Schweicher E. Hyperspectral anomaly detection: A comparative evaluation of methods. *XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*. IEEE. 2011. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/URSIGASS.2011.6050650>.
2. Hurin A. P., Khudov H. V., Kostyria O. O., Maslenko O. V., Siadrystyi S. I. Comparative analysis of spectral anomalies detection methods on images from on-board remote sensing systems. *Advanced Information Systems*. 2024. Vol. 8. No. 2. P. 48–57. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.06>.
3. Tedore C., Johnsen S. Using RGB displays to portray color realistic imagery to animal eyes. *Current Zoology*. 2017. Vol. 63. No. 1. P. 27–34. <https://doi.org/10.1093/cz/zow076>.
4. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.

Худов Геннадій Володимирович - доктор технічних наук, професор, начальник кафедри тактики радіотехнічних військ факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони

Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: 2345kh_hg@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>.

Гурін Артем Петрович - ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: tema0504@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8536-4924>.

Гурін Олег Олександрович - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри озброєння радіотехнічних військ факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7216-7497>.

Лісогорський Богдан Анатолійович - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Пономарь Андрій Васильович - старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6854-6892>.

Khudov Hennadii V. - Doctor of Engineering Science Professor, Head of the Department of Tactics of the Radio Technical Forces Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: 2345kh_hg@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>.

Hurin Artem P. - Post-Graduate of the scientific and organizational department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: tema0504@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8536-4924>.

Goorin Oleg O. - PhD in Engineering, Senior Lecturer of the Department of Weapons of Radio-Technical Forces Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-7216-7497>.

Lisohorskyi Bohdan A. - PhD in Engineering, Senior researcher of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Ponomar Andriy V. - Senior researcher of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6854-6892>.