

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

ВИЯВЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ АНОМАЛІЙ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНОГО КРИТЕРІЮ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБЛЕРА В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Анотація

Робота присвячена удосконаленню методу виявлення спектральних аномалій на зображеннях, що спостерігаються за допомогою оптико-електронної системи. Під спектральною аномалією слід розуміти область невеликого розміру на зображенні, спектральні відмінності пікселів якої суттєво відрізняються від оточуючої її околиці. Було проведено аналіз відомих методів виявлення спектральних аномалій та обґрунтована доцільність використання методу на основі інформаційної міри віддаленості один від одного ймовірнісних розподілів – інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера.

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

Abstract

The work is devoted to the improvement of the method of detecting spectral anomalies in images observed with the help of an optical-electronic 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 area. An analysis of known methods for detecting spectral anomalies was carried out and the justified feasibility of using the method was based on the information measure of the distance of probability distributions from each other - Kullback-Leibler information divergence.

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

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’єкту пошуку 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 розподілу досліджуваних зображень, названий авторами методом “ковзаючого вікна”.

Метод полягає в тому, що обираються два вікна обробки, перше з них - “внутрішнє” - інтерпретується як область потенційної аномалії, а друге - “зовнішнє” - як околиця цієї потенційної аномалії (дані “внутрішнього” вікна не потрапляють до даних розрахунку “зовнішнього” вікна). Зазначена пара вікон займає послідовно усі можливі розташування в площині зображення (наприклад, в режимі рядково-стовпцевої розгортки) та для кожного їх розташування розраховується спектральна відмінність – аномальність між вікнами з метою виявлення максимальної відмінності.

Для визначення властивостей кожної з двох спектральних ділянок зображення, в кожному вікні слід визначити наскільки інформаційна ентропія одного розподілу (належить до зображення одного вікна) відрізняється від ентропії іншого розподілу (належить до

зображення іншого вікна). Для визначення дивергенції Кульбака-Лейблера необхідно обчислити інформаційну ентропію двох розподілів та розрахувати їх різницю.

На рисунку (рис. 1) в трафареті зображені два вікна. Слід відмітити, що кожне з вікон містить внутрішню область (“внутрішнє” вікно) для розрахунку відмінності між нею та зовнішньою областю (“зовнішнім” вікном) з метою виявлення спектральних аномалій.

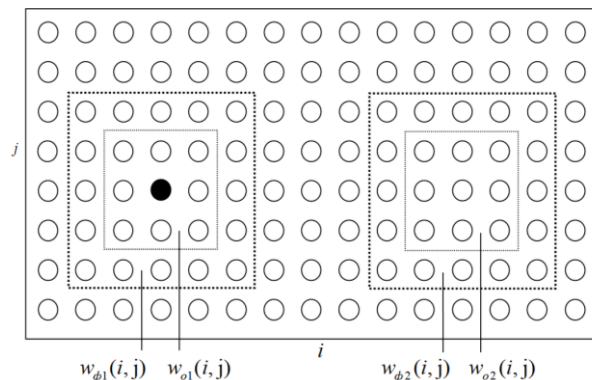


Рис. 1. Принцип виявлення спектральних аномалій зображень з використанням інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера

В інтересах вирішення поставленого завдання будемо вважати, що у “внутрішньому” вікні статистичні характеристики зображення визначаються класом $\omega_O(i, j)$, а в “зовнішньому” вікні - класом $\omega_\phi(i, j)$. Слід розрахувати величину дивергенції розташування “ковзаючого вікна” (i, j) . Послідовно змінюючи розташування “ковзаючого вікна” в режимі рядково-стовпцевої розгортки, слід оцінити дивергенції усіх його можливих розташувань на зображенні. Після проведення розрахунків дивергенції для усіх ділянок зображення, рішення про наявність спектральної аномалії приймається для ділянки, у якій показник дивергенції буде найбільшим. На даній ілюстрації (рис. 1) найбільший показник дивергенції буде в розташування “ковзаючого вікна” №1 (зліва), що й вкаже на наявність в його “внутрішньому” вікні спектральної аномалії зображення.

Отже, сутність методу складається з порівняльного аналізу, що здійснюється за величиною статистичних розподілів сигналів двох класів ω_O та ω_ϕ , які належать досліджуваній ділянці зображення. Ділянка складається з “внутрішнього” вікна (розподіл сигналу ω_O) та “зовнішнього” вікна (розподіл сигналу ω_ϕ). Зазначена пара вікон займає послідовно усі можливі розташування в площині зображення (в режимі рядково-стовпцевої розгортки) та для кожного їх розташування розраховується величина інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера.

Зазвичай під час вирішення завдання розпізнавання застосовується математичне очікування правдоподібності для класів ω_O та ω_ϕ і оцінюється роздільність класів за різницею математичних очікувань [3]:

$$D = \int_{\mathfrak{R}} p(\bar{X} / \omega_O) \ln \frac{p(\bar{X} / \omega_O)}{p(\bar{X} / \omega_\phi)} d\bar{X} - \int_{\mathfrak{R}} p(\bar{X} / \omega_\phi) \ln \frac{p(\bar{X} / \omega_O)}{p(\bar{X} / \omega_\phi)} d\bar{X}, \quad (1)$$

де $p(\bar{X} / \omega_O)$ – щільність ймовірності прийнятої реалізації за наявності сигналу класу ω_O ;

$p(\bar{X} / \omega_\phi)$ – щільність ймовірності прийнятої реалізації за наявності сигналу класу ω_ϕ ;

$\ln p(\bar{X} / \omega_O) / p(\bar{X} / \omega_\phi)$ – відношення правдоподібності для класів ω_O та ω_ϕ .

Припустимо, що прийняті k -мірні реалізації за умов наявності сигналів класів ω_O та ω_ϕ підкоряються нормальному закону з відповідними щільностями ймовірності:

$$p(\vec{X} / \omega_O) = N(\vec{\mu}_O, \Gamma_O); \quad (2)$$

$$p(\vec{X} / \omega_\Phi) = N(\vec{\mu}_\Phi, \Gamma_\Phi), \quad (3)$$

де $\vec{\mu}_O$ та $\vec{\mu}_\Phi$ – математичні очікування класів ω_O та ω_Φ ; Γ_O та Γ_Φ – кореляційні матриці класів ω_O та ω_Φ .

Скориставшись (1), отримаємо вираз дивергенції Кульбака-Лейблера, який матиме наступний вигляд [3]:

$$D = \frac{1}{2} \left[\vec{\xi}^T (\Gamma_O^{-1} + \Gamma_\Phi^{-1}) \vec{\xi} + \text{tr}(\Gamma_O \Gamma_\Phi^{-1} + \Gamma_\Phi \Gamma_O^{-1} - 2I) \right]; \quad (4)$$

де $\vec{\xi} = \vec{\mu}_O - \vec{\mu}_\Phi$ – вектор різниці математичних очікувань класів ω_O та ω_Φ ; I – одинична матриця; $\text{tr}(\bullet)$ – слід матриці; Γ_O та Γ_Φ – кореляційні матриці класів ω_O та ω_Φ .

Метод включає наступні операції:

По-перше: в результаті реєстрації випромінювання деякого предметного простору формується повнокольорове цифрове RGB зображення.

По-друге: у зображенні слід виділити ділянку, яка складається з «внутрішнього» та «зовнішнього» вікон.

По-третє: відповідно до кольорової моделі RGB кожен елемент «внутрішнього» та «зовнішнього» вікон ділянки зображення 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 [4].

По-четверте: скориставшись виразом (4), необхідно розрахувати інформаційну дивергенцію Кульбака-Лейблера обраної ділянки (D).

Далі, багаторазово змінюючи розташування «ковзаючого вікна» та за допомогою методу отримавши декілька значень дивергенції, існує можливість виявити спектральну аномалію за найбільшим значенням величини дивергенції. Рішення про наявність спектральної аномалії приймається для ділянки, показник дивергенції якої виявиться найбільшим.

Припустимо, що мається кольорове зображення (рис. 2), отримане з літального апарату в простих метеоумовах за допомогою цифрового фотоапарату, розміром 1800×1320 елементів роздільної здатності (пікселів). На ньому зображений лісовий масив з розташованою на ньому спектральною аномалією (танком). Виділемо ділянку на зображенні (рис. 3) з «внутрішнім» та «зовнішнім» вікнами (помічена білим контуром).



Рис. 2. Досліджуване цифрове RGB зображення Рис. 3. Розташування «ковзаючого вікна» №1

Використовуючи вираз (4), виконаємо розрахунок величини дивергенції Кульбака-Лейблера (розташування №1). Отримаємо: $D_1 = 1,858$.

Далі слід змінити розташування даної ділянки (виділеної пари вікон) з наступним обчисленням інформаційної дивергенції для поточного його розташування. Цю операцію слід повторити для усіх можливих розташувань “ковзаючого вікна” на зображенні.

Наведемо для аналізу результати ще двох умовних розташувань “ковзаючого вікна” - розташування №2 (рис. 4) та розташування №3 (рис. 5).



Рис. 4. Розташування “ковзаючого вікна” №2



Рис. 5. Розташування “ковзаючого вікна” №3

Використовуючи вираз (4), виконаємо розрахунок величини дивергенції Кульбака-Лейблера цих розташувань “ковзаючого вікна”.

Отримаємо: $D_2 = 0,273$ (розташування “ковзаючого вікна” №2) та $D_3 = 0,908$ (розташування “ковзаючого вікна” №3).

Отже, проаналізувавши результати математичного моделювання, можна зробити наступні висновки:

1. Метод дозволяє виявити спектральну аномалію на зображенні, що спостерігається за допомогою оптико-електронної системи.
2. Рішення про наявність спектральної аномалії приймається для ділянки, у якій показник дивергенції буде найбільшим (розташування “ковзаючого вікна” №1).
3. Точність визначення положення спектральної аномалії на зображенні залежить від розміру “внутрішнього” вікна, оскільки дає можливість збільшити область її пошуку.

Висновки

Робота присвячена удосконаленню методу виявлення спектральних аномалій на зображеннях, що спостерігаються за допомогою оптико-електронної системи. Під спектральною аномалією слід розуміти область невеликого розміру на зображенні, спектральні відмінності пікселів якої суттєво відрізняються від оточуючої її околиці. Спектральна відмінність виявляється за значенням інформаційного показника - інформаційної дивергенції Кульбака-Лейблера. Проведено математичне моделювання методу виявлення спектральних аномалій зображень. Показано, що найбільше значення величини дивергенції Кульбака-Лейблера вказує на наявність на даній ділянці зображення спектральної аномалії.

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. Денисова А.Ю., Мясников В.В. Обнаружение аномалий на гиперспектральных изображениях. *Компьютерная оптика*. 2014. Т. 38. № 2. С. 287-296.
3. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.
4. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing, fourth edition, Global Edition. New York : Pearson Education Limited, 2018. 1022 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 (штатний) 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 (full-time) student 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>.