

А. П. Гурін, О. О. Гурін, Б. А. Лісогорський, О. М. Сніцаренко, А. В. Пономарь

ВИЯВЛЕННЯ НАДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН СПЕКТРАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Анотація. Доповідь присвячена виявленню надводних об'єктів на цифрових зображеннях із застосуванням методу виявлення змін спектральної структури, отриманих за допомогою оптико-електронної системи берегових засобів охорони. Для виявлення змін спектральної структури зображень у роботі використовується інформаційна міра віддаленості один від одного імовірнісних розподілів – інформаційна дивергенція Кульбака-Лейблера. Відмінність визначається за значенням інформаційного показника (нормованої дивергенції), яка представляє собою відношення дивергенції еталонного зображення та поточного.

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

Abstract. The presentation focuses on the detection of surface objects in digital images using a method based on detecting changes in spectral structure, with data acquired via the optoelectronic systems of coastal surveillance assets. To detect these changes in spectral structure, the study employs the Kullback-Leibler divergence—an information-theoretic measure of the distance between probability distributions. The distinction is determined based on an information metric (normalized divergence), defined as the ratio of the divergence values associated with the reference image and the current image..

Keywords: Kullback-Leibler divergence, optoelectronic system, image change detection, spectral composition of the image.

Вступ

В наш час технічні засоби охорони (відеоспостереження) грають ключову роль в забезпеченні безпеки охороняємих ділянок та будівель. Для забезпечення надійної охорони завдання щодо виявлення, спостереження та класифікації об'єктів, що наближаються, мають виконуватися цілодобово. Зазвичай для виконання цих завдань використовують купольні камери відеоспостереження [1].

Виявлення змін у зображенні – важлива задача в області обробки зображень. Практичне застосування дане завдання знаходить в системах автопілотування, індексування зображень і відео, охоронних системах та особливо у військовій сфері. Завдання виявлення змін спектральної структури дозволяє виявити надводні об'єкти на зображеннях, отриманих за допомогою оптико-електронної системи берегових засобів охорони.

За останній час було створено низку методів виявлення змін зображень. Однак відомо, що жоден з них не є оптимальним і застосовним до всіх випадків [2].

Метою роботи є удосконалення методу обробки та аналізу цифрових зображень, отриманих за допомогою оптико-електронної системи відеоспостереження, з метою виявлення надводних об'єктів.

Результати дослідження

Аналіз пристроїв виявлення та ідентифікації зображень об'єктів за спектральними ознаками з використанням оптико-електронних систем дозволяє зробити висновок, що для виявлення змін структури зображення необхідно використовувати детектори змін. Детектори змін включають досліджувані зображення та обчислювальний пристрій, що забезпечує цифрову обробку зображень з подальшою оцінкою отриманих результатів.

В якості ознак, які свідчать про зміну просторово статистичних властивостей спектральних зображень, у роботі використовується зміна їх інформативності. Інформативність зображення в оптико-електронних системах виявлення визначається кількістю інформації, яка може бути корисною для правильного поділу розподілів сигналів, що належать до класів ω_L та ω_R , відомою як інформаційна дивергенція Кульбака-Лейблера [3]. Інформаційна дивергенція

(відносна ентропія), є математичним очікуванням відношення правдоподібності і використовується в завданнях статистичної обробки для роздільності двох класів за різницею їх математичних очікувань:

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

де $p(\bar{X} / \omega_L)$ – щільність ймовірності прийнятої реалізації за наявності сигналу класу ω_L ; $p(\bar{X} / \omega_R)$ – щільність ймовірності прийнятої реалізації за наявності сигналу класу ω_R ; $\ln p(\bar{X} / \omega_L) / p(\bar{X} / \omega_R)$ – відношення правдоподібності для класів ω_L та ω_R .

Метод виявлення змін у структурі зображень полягає в порівняльному аналізі, який здійснюється за величиною статистичних розподілів сигналів двох класів ω_L та ω_R , що належать до двох зображень – О (еталонного) та Т (поточного).

Метод включає наступні операції:

По-перше: в результаті ресестрації випромінювання деякого предметного простору формується два повнокольорових цифрових RGB зображення. Одне з них приймається за еталонне, а інше – за поточне.

По-друге: у кожному із зображень необхідно виділити дві однаково симетрично розташовані ділянки з однаковою кількістю пікселів та ансамблями сигналів, що належать до класів ω_L (складає ліву частину зображення) та ω_R (складає праву частину зображення).

По-третє: відповідно до кольорової моделі RGB кожен елемент вихідного кольорового зображення з координатами (i, j) представляється у вигляді вектору $\bar{X}_{i,j} = [x_R(i, j), x_G(i, j), x_B(i, j)]^T$ 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.

Використовуючи цифрову обробку зображень, слід обчислити в зображеннях О та Т міру віддаленості один від одного двох ймовірнісних розподілів, що належать до класів ω_L та ω_R та підкоряються нормальному закону з відповідними щільностями ймовірності.:

$$p(\bar{X} / \omega_L) = N(\bar{\mu}_L, \Gamma_L); \quad (2)$$

$$p(\bar{X} / \omega_R) = N(\bar{\mu}_R, \Gamma_R), \quad (3)$$

де $\bar{\mu}_L$ та $\bar{\mu}_R$ – математичні очікування спектрального складу лівої та правої частини зображення; Γ_L та Γ_R – кореляційні матриці спектрального складу лівої та правої частини зображення.

По-четверте: для застосування методу виявлення змін спектральної структури поточного зображення Т по відношенню до еталонного О необхідно скористатися наступними виразами, отриманими на основі виразу (1):

$$D_O = \frac{1}{2} \left[\bar{\xi}_O^T (\Gamma_{O_L}^{-1} + \Gamma_{O_R}^{-1}) \bar{\xi}_O + tr(\Gamma_{O_L} \Gamma_{O_R}^{-1} + \Gamma_{O_R} \Gamma_{O_L}^{-1} - 2I) \right]; \quad (4)$$

$$D_T = \frac{1}{2} \left[\bar{\xi}_T^T (\Gamma_{T_L}^{-1} + \Gamma_{T_R}^{-1}) \bar{\xi}_T + tr(\Gamma_{T_L} \Gamma_{T_R}^{-1} + \Gamma_{T_R} \Gamma_{T_L}^{-1} - 2I) \right], \quad (5)$$

де $\bar{\xi}_O = \bar{\mu}_{O_L} - \bar{\mu}_{O_R}$ – вектор різниці математичних очікувань сигналів лівої та правої частин еталонного зображення; $\bar{\xi}_T = \bar{\mu}_{T_L} - \bar{\mu}_{T_R}$ – вектор різниці математичних очікувань сигналів лівої та правої частин поточного зображення; I – одинична матриця; $tr(\bullet)$ – слід матриці; Γ_{O_L} та

Γ_{O_R} – кореляційні матриці спектрального складу лівої та правої частин еталонного зображення; Γ_{T_L} та Γ_{T_R} – кореляційні матриці спектрального складу лівої та правої частин поточного зображення.

По-п'яте: слід зробити розрахунок нормованої дивергенції Кульбака-Лейблера (зробити порівняння отриманих дивергенцій) за виразом:

$$R = D_O / D_T. \quad (6)$$

Якщо величина дивергенції Кульбака-Лейблера в зображеннях однакова, то зміни в структурі цих зображень відсутні і нормована дивергенція буде дорівнювати $R = D_O / D_T \approx 1$. У випадку, коли величини дивергенції Кульбака-Лейблера в зображеннях не однакові, то структура поточного зображення по відношенню до еталонного зображення зазнала змін та нормована дивергенція буде дорівнювати $R = D_O / D_T \neq 1$.

Припустимо, що мається цифрове еталонне зображення розміром 3000x1200 елементів роздільної здатності (пікселів), отримане оптико-електронною системою берегових засобів охорони (рис. 1). На ньому зображений морський пейзаж. Використавши вираз (4), зробимо розрахунок величини дивергенції Кульбака-Лейблера. Отримаємо, що $D_O = 1,354$.

Припустимо, що мається поточне зображення № 1 (рис. 2). Використавши вираз (5), зробимо розрахунок величини дивергенції Кульбака-Лейблера поточного зображення № 1. Отримаємо, що $D_{T1} = 1,354$.

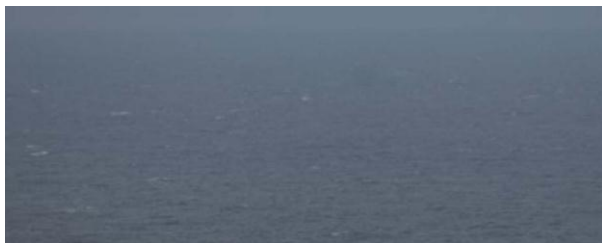


Рис. 1. Еталонне цифрове RGB зображення

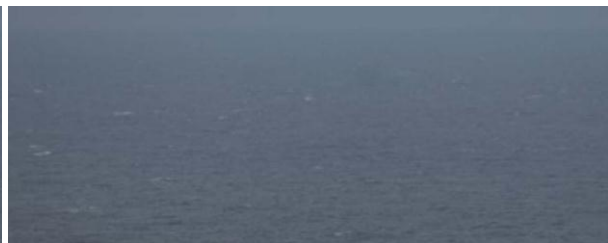


Рис. 2. Поточне цифрове RGB зображення № 1

Зробимо розрахунок нормованої дивергенції (вираз (6)). Оскільки, нормована дивергенція дорівнює одиниці ($R_1 = D_O / D_{T1} = 1,354 / 1,354 = 1$), то можна зробити висновок, що зміна спектрального складу поточного зображення № 1 по відношенню до еталонного зображення, не відбулась (об'єкт інтересу відсутній).

Припустимо, що мається поточне зображення № 2 (рис. 3).



Рис. 3. Поточне цифрове RGB зображення № 2

Використавши вираз (5), зробимо розрахунок величини дивергенції Кульбака-Лейблера поточного зображення № 2. Отримаємо, що $D_{T2} = 1,309$.

Зробимо розрахунок нормованої дивергенції (вираз (96)). Оскільки значення нормованої дивергенції не дорівнює одиниці ($R_2 = D_O / D_{T2} = 1,354 / 1,309 = 1,035$), то можна зробити висновок про наявність спектральних змін поточного зображення № 2 по відношенню до еталонного зображення (в 1,035 разів). Це свідчить про те, що на поточному зображенні № 2 з'явився надводний об'єкт і саме це зображення слід обрати для подальшого дослідження.

Висновки

Доповідь присвячена виявленню надводних об'єктів на цифрових зображеннях із застосуванням методу виявлення змін спектральної структури, отриманих за допомогою оптико-електронної системи берегових засобів охорони. Для виявлення змін спектральної структури зображень у роботі використовується інформаційна міра віддаленості один від одного імовірнісних розподілів – інформаційна дивергенція Кульбака-Лейблера. Відмінність визначається за значенням інформаційного показника (нормованої дивергенції), яка представляє собою відношення дивергенції еталонного зображення та поточного.

Список використаних джерел

1. Купольні камери відеоспостереження: все що потрібно знати. Надзор. Системи безпеки : веб-сайт. URL: https://nadzor.ua/uk/blog/videonabludenie/kupolni-kameri-videosposterezhennya-vse-sho-potribno-znati?srsId=AfmBOoov49Nq4HL6x_Y1otFRew3pYLMbMoiEu7TJ7xvwjTnBynt-xgi (дата звернення: 01.10.2026).
2. Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25. No. 12. P. 2365–2407. <https://www.researchgate.net/publication/235245895>.
3. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.

Гурін Артем Петрович – доктор філософії, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу моделювання та розвитку інформаційних систем Повітряних Сил науково-дослідного управління розвитку і застосування Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID <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 імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7216-7497>.

Лісогорський Богдан Анатолійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший викладач кафедри бойового застосування радіотехнічного озброєння факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Сніцаренко Ольга Миколаївна – начальник відділення підготовки та атестації наукових і науково-педагогічних кадрів науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Sniczarenko2@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0009-0008-8754-5842>.

Пономарь Андрій Васильович – старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6854-6892>.

Artem Petrovych Hurin – PhD, Leading Researcher, Research Department for Modeling and Development of Air Force Information Systems, Air Force Development and Employment Research Directorate, Air Force Research Center, Ivan Kozhedub Kharkiv

National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8536-4924>.

Oleg Oleksandrovych Goorin - PhD in Engineering, Senior Lecturer at the Department of Radio-Technical Troops Armament, Faculty of Radio-Technical Air Defense Troops, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Goorin.oleg@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7216-7497>.

Bohdan Anatoliiovych Lisohorskyi - PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior Lecturer at the Department of Combat Employment of Radio-Technical Equipment, Faculty of Radio-Technical Air Defense Troops, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Olha Mykolaivna Snitsarenko - Head of the Division for the Training and Attestation of Scientific and Academic Staff, Scientific-Organizational Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Sniczarenko2@ukr.net **ORCID** <https://orcid.org/0009-0008-8754-5842>.

Andriy Vasylovych Ponomar - Senior Researcher at the Research Laboratory of the Faculty of Radio-Technical Air Defense Troops, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6854-6892>.