

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

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПІВ СПЕКТРАЛЬНОЇ УЗГОДЖЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Анотація. Доповідь присвячена удосконаленому методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях, які отримані із застосуванням оптико-електронної системи під час моніторингу повітряного простору. Особливістю методу є те, що з метою зміни яскравості пікселів отриманого зображення, на основі відомих спектральних характеристик повітряного об'єкта та розрахованих спектральних характеристик фону обчислюється апаратна функція. Скалярний добуток апаратної функції з показниками яскравості пікселів зображення дозволяє змінити їх яскравість таким чином, щоб зменшити величину яскравості пікселів фону із мінімальним зменшенням яскравості пікселів повітряного об'єкта.

Ключові слова: оптико-електронна система, підвищення контрасту об'єкта, яскравість пікселів, спектральний склад зображення.

Abstract. The report is devoted to an improved method of increasing the contrast of aerial objects in digital images obtained using an optoelectronic system during airspace monitoring. The peculiarity of the method is that in order to change the brightness of the pixels of the obtained image, a hardware function is calculated based on the known spectral characteristics of the aerial object and the calculated spectral characteristics of the background. The scalar product of the hardware function with the brightness indicators of the image pixels allows changing their brightness in such a way as to reduce the brightness of the background pixels with a minimal decrease in the brightness of the aerial object pixels.

Keywords: electro-optical system, increasing object contrast, pixel brightness, spectral composition of the image.

Вступ

Найбільш розповсюдженими задачами, які розв'язуються оптико-електронними системами, є виявлення, розпізнавання та класифікація об'єктів. Під час розв'язання такого класу задач використовують певний опис образів (сукупність сигналів, що обробляються), які складають відмінні ознаки об'єктів. Найчастіше використовують такі групи ознак: геометричні ознаки, спектральні, енергетичні та динамічні [1].

Фізичною основою побудови оптико-електронних систем із застосуванням принципів спектральної узгодженої динамічної обробки оптичних сигналів, є вибіркова здатність кольорових поверхонь відбивати та поглинати світло різних довжин хвиль [2]. Математичною основою, що застосовується при вирішенні завдань підвищення контрастності сигналів за спектральними ознаками, є векторне подання таких сигналів [3]. Отже, враховуючи вказане вище, існує можливість обчислення апаратної функції, скалярний добуток якої із показниками яскравості пікселів зображення дозволить підвищити контраст повітряного об'єкта.

Вибір спектральних ознак при вирішенні завдання підвищення контрасту повітряних об'єктів, обумовлений тим, що під час спектральної обробки відсутня необхідність високої просторової роздільної здатності, тому що виявлення та розпізнавання повітряних об'єктів може проводитися за мінімальною кількістю його видимих пікселів [3]. Тому завдання, що полягає в удосконаленні методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях, що забезпечує поліпшені характеристики, є актуальним.

Метою роботи є підвищення контрасту повітряних об'єктів на потоковому відео, отриманого із застосуванням оптико-електронної системи під час моніторингу повітряного

простору, шляхом розділення його на цифрові зображення, з подальшою їх обробкою в інтересах виявлення та розпізнавання об'єктів.

Результати дослідження

Удосконалений метод підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях ік селів я на операції скалярного добутку апаратної функції із показниками яскравості ік селів зображення. Підвищення контрасту однорідного об'єкту на однорідному фоні забезпечується визначенням такого вектору апаратної функції $\vec{F}$, скалярний добуток якого з вектором фону $\vec{B}$ буде дорівнювати нулю, а добуток з вектором об'єкту буде максимальним (рис. 1) [4].

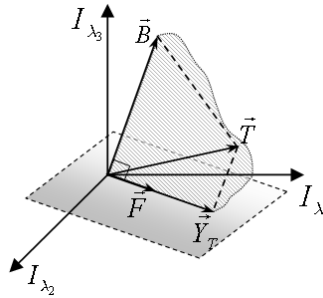


Рис. 1. Ілюстрація до узгодженої динамічної обробки сигналів однорідного об'єкту на однорідному фоні

Для випадку спектральної узгодженої динамічної обробки сигналів однорідного об'єкту на однорідному фоні, апаратна функція розраховується на основі апріорних даних спектральних характеристик вектора об'єкту $\vec{T}$ і та розрахованих характеристик вектора фону $\vec{B}$ з використанням наступного виразу [5]:

$$\vec{F} = \frac{\vec{T} - N \cdot \vec{B}}{\|\vec{T} - N \cdot \vec{B}\|}, \quad (1)$$

де $N = \frac{\vec{T}^T \cdot \vec{B}}{\vec{B}^T \cdot \vec{B}}$ – проекція вектора об'єкту на вектор фону.

На рисунку (рис. 1) в тривимірному просторі зображено розташування векторів при спектральній фільтрації. Вектор апаратної функції $\vec{F} = f_1 \vec{\lambda}_1 + f_2 \vec{\lambda}_2 + f_3 \vec{\lambda}_3$ є ортогональним до вектора фону $\vec{B} = b_1 \vec{\lambda}_1 + b_2 \vec{\lambda}_2 + b_3 \vec{\lambda}_3$, та лежить в площині, яка створена вектором $\vec{B}$ і вектором, що ілюструє спектральні властивості об'єкту $\vec{T} = t_1 \vec{\lambda}_1 + t_2 \vec{\lambda}_2 + t_3 \vec{\lambda}_3$.

Вектор апаратної функції $\vec{F}(f_1; f_2; f_3)$ є ортогональним до вектору фону $\vec{B}(b_1; b_2; b_3)$, та лежить в площині, яка створена вектором $\vec{B}$ і вектором, що ілюструє спектральні властивості повітряного об'єкта $\vec{T}(t_1; t_2; t_3)$.

В алгебраїчній формі скалярний добуток являє собою операцію множення проєкцій векторів, які приймають участь у процесі селекції з подальшим їх підсумовуванням:

$$(\vec{X} \cdot \vec{F}) = \vec{\lambda}_1 f_1 + \vec{\lambda}_2 f_2 + \vec{\lambda}_3 f_3. \quad (2)$$

У випадку (рис. 1) скалярний добуток ортогональних векторів фону та апаратної функції дорівнює нулю, а скалярний добуток вектора об'єкту та апаратної функції відмінний від нуля $(\vec{T} \cdot \vec{F}) = \vec{t}_1 f_1 + \vec{t}_2 f_2 + \vec{t}_3 f_3 \neq 0$.

Основу узгодженої динамічної спектральної обробки зображення повітряних об'єктів на цифрових зображеннях складають наступні положення.

По-перше, передбачається, що в результаті реєстрації природного випромінювання деякого повітряного простору отримане цифрове RGB зображення.

По-друге, відповідно до кольорової моделі RGB кожен елемент вихідного кольорового 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 [6].

По-третє, передбачається, що відомі апріорні відомості про числові параметри імовірнісних характеристик сигналів повітряного об'єкта та фону (вектори математичного очікування), які розраховано за допомогою наступних виразів [7]:

$$\vec{\mu}_T = \frac{1}{t} \sum_{L=1}^t \vec{X}_L, \quad (3)$$

де $\vec{X}_L$ – тривимірний вектор L -го елементу репрезентативної вибірки повітряного об'єкта;
 t – кількість елементів репрезентативної вибірки повітряного об'єкта;

$$\vec{\mu}_B = \frac{1}{b} \sum_{K=1}^b \vec{X}_K, \quad (4)$$

де $\vec{X}_K$ – тривимірний вектор K -го елементу репрезентативної вибірки фону;

b – кількість елементів репрезентативної вибірки фону;

По-четверте, передбачається, що процес спектральної фільтрації полягає в обчисленні скалярного добутку векторів елементу вихідного кольорового зображення $\vec{X}$ та апаратної функції $\vec{F}$.

З урахуванням вищевикладеного матеріалу, основними етапами методу підвищення контрасту повітряних об'єктів є [8]:

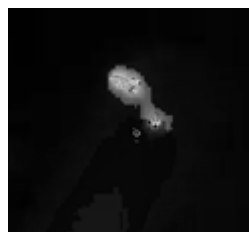
- реєстрація вхідного зображення $\vec{X}$;
- розрахунок вектору сигналу повітряного об'єкта $\vec{\mu}_T$ (вираз (3));
- розрахунок вектору сигналу фону $\vec{\mu}_B$ (вираз (4));
- розрахунок проекції вектору об'єкту на вектор фону N ;
- розрахунок вектору апаратної функції $\vec{F}$, який забезпечує підвищення контрасту об'єкту розвідки з урахуванням числових параметрів спектральних характеристик сигналів об'єкту розвідки та фону (вираз (1));
- розрахунок скалярного добутку векторів яскравостей пікселів зображень вихідного кольорового розвідувального зображення $\vec{X}$ та апаратної функції $\vec{F}$ (вираз (2));
- формування зображення з підвищеним контрастом.

Для підтвердження результатів теоретичних розрахунків було проведено математичне моделювання методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях з використанням персональної електронно-обчислювальної машини (комп'ютерне моделювання).

На зображенні (рис. 2 а) представлено вихідне цифрове зображення повітряного об'єкта (безпілотний літальний апарат “Shahed-136” (“Герань-2”)) під час польоту в темний час доби. На зображенні (рис. 2 б) представлено цифрове зображення повітряного об'єкта із підвищеним показником контрасту.



а)



б)

Рис. 2. Цифрове зображення повітряного об'єкта:

а – вихідне цифрове зображення; б – цифрове зображення з підвищеним контрастом

Якість цифрової обробки зображення, оцінювалася шляхом розрахунку контрасту до цифрової обробки $K_{\text{вх}}$ та після обробки $K_{\text{вих}}$ з використанням наступних співвідношень [4]:

$$K_{\text{вх}} = \frac{\vec{F}_1^T (\vec{\mu}_T - \vec{\mu}_B)}{\vec{F}_1^T (\vec{\mu}_T + \vec{\mu}_B)}, \quad K_{\text{вих}} = \frac{\mu_T - \mu_B}{\mu_T + \mu_B}, \quad (5)$$

де $\vec{F}_1^T = [1; 1; 1]$ – вектор апаратної функції, який забезпечує мінімальне послаблення вхідного випромінювання селектуючим пристроєм;

$\vec{\mu}_T, \vec{\mu}_B$ – математичні очікування сигналів об'єкту та фону до цифрової обробки;

μ_T, μ_B – математичні очікування сигналів об'єкту та фону після цифрової обробки.

Математичне моделювання удосконаленого методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях показало, що розглянутий у доповіді метод дозволяє підвищити контраст повітряного об'єкта ($K_{\text{вх}} = 0,569$, $K_{\text{вих}} = 0,823$).

Висновки

Доповідь присвячена удосконаленому методу підвищення контрасту повітряних об'єктів на цифрових зображеннях, які отримані із застосуванням оптико-електронної системи під час моніторингу повітряного простору. Наведено математичні основи принципів спектральної узгодженої динамічної обробки цифрових зображень. Розроблена математичну модель та проведено математичне моделювання методу підвищення контрасту зображення повітряних об'єктів. Показано, що розроблена математична модель надає можливість збільшити контраст зображення повітряних об'єктів в 1,5 рази.

Список використаних джерел:

1. Білинський Й. Й., Огородник К. В., Юкиш М. Й. Оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку. Електронні системи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. С. 14–16.
2. Tulansky S. Curiosities of light rays and light waves. New York: American Elsevier Publishing Company, 1965. 109 p.
3. Manolakis D., Marden D., Shaw G. Hyperspectral image processing for automatic target detection applications. Lincoln Laboratory Journal. 2003. Vol. 14. No. 1. P. 79–113. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.163.733>.
4. Купченко Л. Ф., Слабунова Н. В., Гурін О. А. Акустооптический процессор в оптико-електронной системе обеспечивающий динамическую спектральную фильтрацию. Прикладная радиоэлектроника. 2016. № 15 (4). С. 359–361.
5. Купченко Л. Ф., Рыбьяк А. С. Динамическая спектральная фильтрация оптического излучения в оптоэлектронных системах. Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. № 16 (4). С. 32–43.
6. 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>.
7. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition. San Diego : Academic Press, Inc., 1990. 626 p.
8. Купченко Л. Ф., Худов Г. В., Гурін А. П., Риб'як А. С. Активна оптико-електронна система виявлення затінених об'єктів, яка використовує принципи спектральної узгодженої динамічної обробки зображень. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 4 (45). С. 49–57. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.06>.

Гурін Артем Петрович – доктор філософії, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу (моделюючих та 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 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: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Сніцаренко Ольга Миколаївна – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу (розвитку багатofункціональних розвідувально-ударних систем) науково-дослідного управління (спеціальних досліджень) наукового центру Повітряних Сил 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 of the Research Department (Air Force Modeling and Information Systems) of the Research Department (Air Force Development and Application) of the Air Force Research Center of the 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 of the Department of Weapons of Radio-Technical Forces Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces 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 researcher of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: lisogorskiy.b@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5345-0345>.

Snitsarenko Olha Mykolaivna – Senior Researcher of the Research Department (Development of Multifunctional Reconnaissance and Strike Systems) of the Research Department (Special Research) of the Air Force Research Center of the 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 of the research laboratory Faculty of Radio Engineering of the Air Defense Forces of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: Andreyponomar1980@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6854-6892>.