

## 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290621>

Article received 21.06.2019 р.

Article accepted 27.06.2019 р.

УДК 004.93



ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

O. I. Kosar

[oleh.kosar94@gmail.com](mailto:oleh.kosar94@gmail.com)

**Н. Б. Шаховська, О. І. Косар**

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

### ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЇХ ОБРОБЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ШУМУ

Зроблено акцент на аерокосмічних зображеннях, методах їх отримання та застосування. Якість отриманих первинних зображень часто не відповідає потребам кінцевих користувачів. Якщо спотворювальним чинником для зображення є шум, то використовуються передусім фільтри, що з різним успіхом усувають різні типи шумів. Виділено групу сучасних систем та засобів програмного забезпечення, що використовують для отримання та оброблення аерокосмічних зображень. Охарактеризовано особливості таких зображень у різних спектральних діапазонах. Подано особливості типових спотворень для такого типу зображень. Особливу увагу при цьому приділено шумам різних типів. Оцінювати рівень шуму можна на базі одного та багатьох зображень. Для цього існують різні методи. Проаналізовано наявні методи оцінювання шуму для графічних зображень, зокрема такі типи методів: визначення функції рівня шуму з єдиного зображення, що використовує залежність дисперсії шуму від інтенсивності зображення і передбачає визначення ділянок однорідності (гомогенності); визначення типу та рівня шуму з гістограми яскравості зображення; оцінка на базі окремого зображення з використанням кусково-гладкої функції попередньої моделі зображень та функції відгуку камер із зарядовим зв'язком; оцінка на базі математичних співвідношень щодо залежності автокореляційної функції зображень від дисперсії адитивного шуму та інші. Експериментальним чином застосовано кілька методів для оцінки шуму для зображення з відкритого датасету DOTA.

**Ключові слова:** оброблення графічних зображень; дистанційне зондування Землі; аерокосмічні зображення; накладання шумів на зображення; оцінка типу та ступеня спотворень.

**Вступ.** Сьогодні невіддільний розвиток аерокосмічної галузі, з одного боку, а також комп'ютерингу та цифрового оброблення зображень – з іншого, створили передумови для спрощення моніторингу, оцінювання стану земної поверхні, розпізнавання бажаних об'єктів тощо. Серед сфер застосування аерокосмічних зображень – моніторинг стану довкілля і землекористування, вивчення рослинних угруповань місцевості, оцінка врожаїв, оцінка стану забруднення ґрунтів та водойм, оцінка наслідків стихійних лих.

Водночас аерокосмічні зображення типово є вразливими до спотворень, спричинених несприятливими умовами навколишнього середовища, технічними обмеженнями та несправностями. У цих умовах успіх операцій оброблення зображень залежатиме від стійкості обраних методів до відповідного типу спотворень. Проведення попереднього виявлення та оцінювання типу і ступеня спотворення дають змогу якнайкраще підібрати метод оброблення зображень та вибрати його параметри.

**Аерокосмічні зображення, сфера їх застосування та методи отримання.** Серед поширених способів от-

римання аерокосмічних зображень – проведення оптичного дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), отримання зображень з використанням безпілотних літальних апаратів (дронів). Для космічного та аерознімання застосовують багатоспектральну фото-, теле- і сканерну апаратури (Kashkin & Sukhinin, 2008). До систем ДЗЗ належать, наприклад, MODIS/EOS AM-1 Terra, WorldView-1, 2, 3, RapidEye та ін. (Kashtan, 2016). Так, MODIS/EOS AM-1 Terra здійснює збір інформації у 36 спектральних діапазонах про глобальну динаміку та процеси, що відбуваються на поверхні Землі в океанах та нижніх шарах атмосфери. Ці дані відіграють важливу роль зокрема в процесі побудови перевірених, глобальних, інтерактивних моделей Землі і, відповідно, прийняття глобальних рішень стосовно захисту довкілля (Spectroradiometer, 2019). RapidEye є системою з п'яти супутників, що володіють однаковими сенсорами та рухаються в одній орбітальній площині. RapidEye фіксує інформацію стосовно 4 млн км<sup>2</sup> щодня з номінальною роздільною здатністю 6,5 м.

Спектральні канали можуть знаходитися як у видимих, так і в невидимих (ультрафіолетових та інфрачер-

#### Інформація про авторів:

**Шаховська Наталія Богданівна**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри систем штучного інтелекту.

Email: [natalya233@gmail.com](mailto:natalya233@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-6875-8534>

**Косар Олег Ігорович**, аспірант, кафедра систем штучного інтелекту. Email: [oleh.kosar94@gmail.com](mailto:oleh.kosar94@gmail.com)

**Цитування за ДСТУ:** Шаховська Н. Б., Косар О. І. Особливості отримання аерокосмічних зображень, їх оброблення та оцінювання шуму. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 6. С. 102–105.

**Citation APA:** Shakhovska, N. B., & Kosar, O. I. (2019). Specifics of obtaining aerospace images, processing and noise estimation for such type of images. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6), 102–105. <https://doi.org/10.15421/40290621>

вони) ділянках спектра. Число таких каналів може досягати 5–10 і більше. За візуалізації таких зображень отримують аеро- або космічне зображення в умовних кольорах.

Існують засоби програмного забезпечення, призначені для оброблення аерокосмічних даних, отриманих методом ДЗЗ. Серед них – ERDAS IMAGINE, PCI Geomatica TNTmips (MicroImages), IDRISI (Clark Labs), eCognition (Trimble), RemoteView (Overwatch Textron Systems), Dragon/ips. Серед програм open-source програмного забезпечення – Opticks, Orfeo toolbox, Sentinel Application Platform (SNAP) від Європейського космічного агентства та інші. Інші засоби – такі як GRASS GIS, ILWIS, QGIS, TerraLook – є також геоінформаційними системами. В освітніх цілях можна використати також такі засоби, як: QGIS, Google Earth, StoryMaps, LeoWorks чи BLIF.

### **Особливості зображень, отриманих методом ДЗЗ.**

Дані зондування приходять зазвичай у вигляді цифрових зображень (Kashkin & Sukhinin, 2008). Растрові зображення земної поверхні та хмар під час дистанційного зондування Землі з космосу переважно виглядають як сукупність плям неправильної, довільної форми, що мають різні яскравість і колір. Для математичного опису таких зображень і створення їх моделей, а також для опису шуму і перешкод на зображенні застосовують апарат двовимірних випадкових полів. Для попереднього оброблення даних дистанційного зондування використовують такі методи, як геометричну корекцію зображень, радіометричну та атмосферну корекцію, тощо. Отримані зображення часто є малоконтрастними, тож часто застосовують збільшення контрастності зображень.

За геометричною формою та розподілом яскравості зображення, отримані під час ДЗЗ, сильно відрізняються між собою внаслідок різних випромінювальних характеристик об'єкта в окремих спектральних діапазонах. Зображення, які фіксуються у широкому спектральному діапазоні інтенсивності опромінення – панхромні зображення, мають істотно вище просторове розрізнення, ніж зображення, отримані у вузьких спектральних інтервалах, сукупність яких утворює багатоспектральні зображення (БЗ). Однак останні містять спектральну інформацію, яка відсутня у панхромних знімків. Отже, якість отриманих первинних зображень часто не відповідає потребам кінцевих користувачів. Якщо спотворювальним чинником для зображення є шум, то використовують передусім фільтри, що з різним успіхом усувають різні типи шумів. Під час вибору типу фільтра потрібно враховувати обмеження, пов'язані з обчислювальною складністю та апаратними характеристиками пристрою.

Серед найбільших недоліків методу ДЗЗ є вплив хмарності (існують і радіолокаційні методи аерокосмічних досліджень, які є практично нечутливими до цього чинника і мають свої сфери застосування – моніторинг льодового покриву, рельєфу місцевості тощо). Під час отримання зображень із штучних супутників Землі – супутник рухається ніби над поверхнею циліндра (Kashkin & Sukhinin, 2008).

**Методи оцінювання шуму для аерокосмічних зображень.** Вибір параметрів того чи іншого типу фільтра значно залежить від типу та рівня шуму (Liu et

al., 2006). Відповідно дуже важливим завданням є визначення типу та рівня шуму для отриманих зображень, адже не завжди їх можна знати заздалегідь. Оцінювати рівень шуму можна на базі одного та багатьох зображень. Для цього існують різні методи.

Для прикладу, підхід до вимірювання рівня шуму, описаний у (Sutour et al., 2015), оцінює функцію рівня шуму з єдиного зображення, встановлюється залежність дисперсії шуму від інтенсивності зображення. Цей підхід передбачає поділ зображень на невеликі квадратні ділянки і визначення того, чи є вони однорідними (гомогенними). При цьому використовують коефіцієнт кореляції рангу Кендала, що дає можливість уникнути залежності коефіцієнта невизначення від невідомого розподілу (типу) шуму за умови просторової некорельованості. Під час визначення регіонів однорідності функцію рівня шуму оцінюють як поліном другого порядку, що мінімізує помилку статистики для цих регіонів. Автори зазначали, що під час виконання експериментів із застосуванням цього методу для великих наборів вхідних даних, відносна похибка під час визначення рівня шуму була в межах 10 %. На рисунку наведено приклад визначення рівня шуму для зображення земної поверхні з присутніми об'єктами – літаками великого та малого розмірів.

Аналогічно можна визначити функції рівня шуму для шумів інших типів та значень PSNR для зображень.

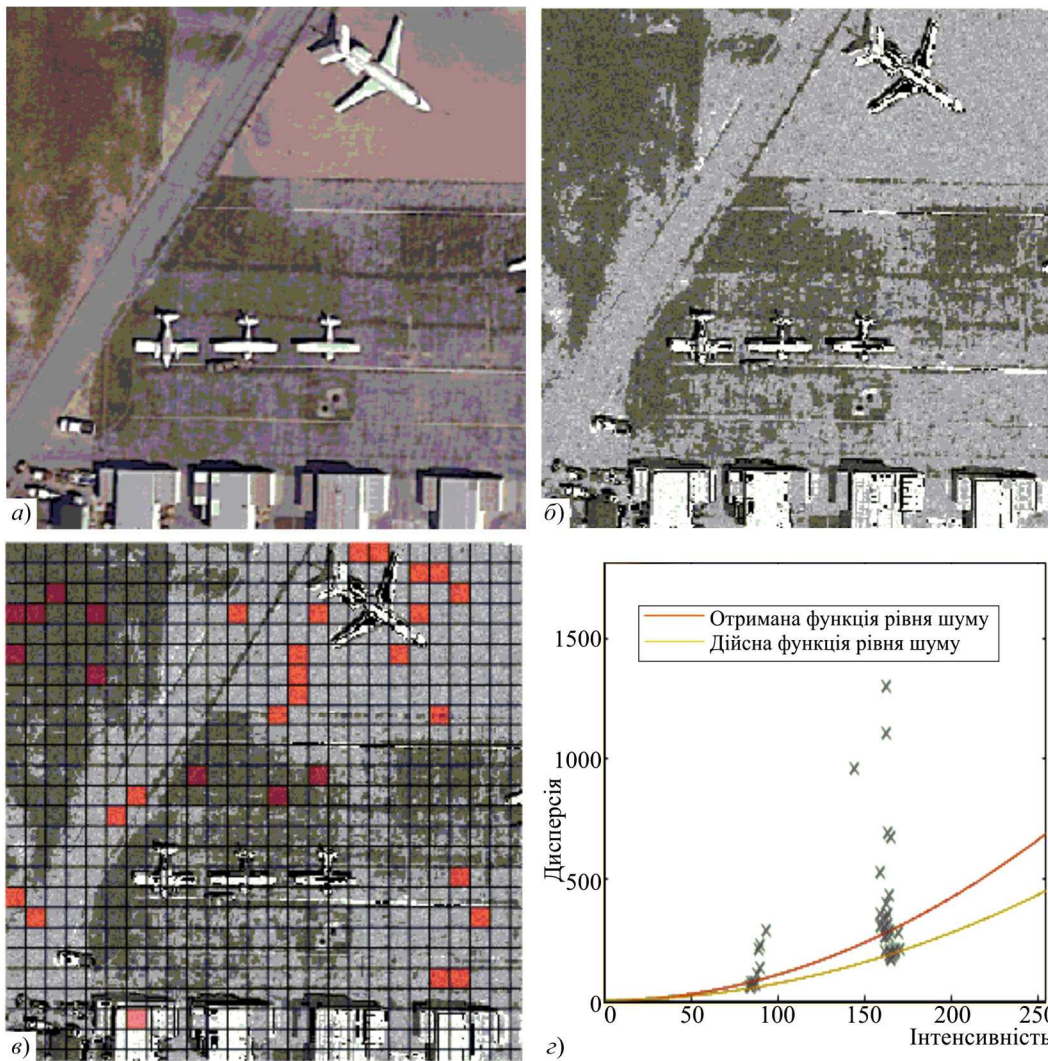
Також можна спробувати визначити тип та рівень шуму з гістограми яскравості зображення. У роботі (Liu et al., 2006) акцентують на оцінюванні рівня шуму для одного окремого зображення (це передбачає формулювання припущень відносно цього зображення) і пропонують для цього зокрема кусково-гладку функцію попередньої моделі зображень та функцію відгуку камер із зарядовим зв'язком (CCD). Йдеться про застосування функції згладжування для кожного регіону зображення і оцінювання рівня шуму як залишку. При цьому шум для зображень, отриманих з камери, є насправді комбінацією шумів, отриманих на різних етапах утворення зображення. Такий шум розглядають як функцію. Часто в літературі щодо усування шуму припускають наявність адитивного білого Гаусіанівського шуму та використовують метод оцінювання на базі середнього абсолютного відхилення. У роботі (Stefano, White & Collis, 2004a, 2004b) автори запропонували кілька методів оцінювання рівня шуму на основі навчальних зразків і статистики природних зображень.

З метою підвищення інформативності первинних сканерних зображень часто використовують синергетичне злиття фотограметричних даних, що походять з кількох каналів з метою одержання в одному графічному об'єкті високих показників геометричного та спектрального розрізненя. Колірні спотворення, що отримують внаслідок такого злиття, можна усувати з допомогою так званих вейвлет-перетворень. У роботі (Kashkan, 2016) було встановлено, що з-поміж різних моделей представлення кольорових зображень під час застосування таких перетворень найбільш ефективною є HSV. Для досягнення високої ефективності усунення шумів, фільтрація повинна здійснюватись у блоках з застосуванням ортогональних перетворень, які добре декорелюють дані із використанням алгоритмів з відносно невеликою обчислювальною складністю (Stefano, White & Collis, 2004b) – для прикладу, перетворення (вейвлет)



Хаара. Таке перетворення використовують зокрема у фільтрі BM3D. У роботі (Krivenko, Kolganova & Lukin,

2013) йдеться про визначення рівня шуму на основі кількох зображень.



**Рисунок.** Застосування методу оцінювання функції шуму, що базується на визначенні ділянок однорідності: а) початкове зображення з датасету DOTA; б) зашумлене Гаусівським шумом зображення (PSNR = 26,6); в) визначення регіонів однорідності; г) отримана та дійсна функції рівня шуму

Існує технологія вимірювання рівня адитивного некорельованого шуму для космічних зображень земної поверхні на базі математичних співвідношень щодо залежності автокореляційної функції зображень від дисперсії адитивного шуму (Healey & Kondepudy, 1994). Адитивними є зокрема електронний шум відеодавача, шум тракту передачі сигналу і шум квантування. Вимірювання рівня шуму на базі вихідного зображення є ефективним для вимірювання високих рівнів шумів, а вимірювання на базі різницевого зображення – для низьких рівнів шумів.

Проте, якщо говорити про визначення функції погіршення якості зображення, можна виділити 3 основні підходи: спостереження, експеримент і математичне моделювання (Eremeev, Zenin & Kniazkov, 2008). При цьому процес відновлення оригінального зображення з використанням визначеної функції спотворення називають сліпою розгорткою (Gonzalez & Woods, 2002). Відновлення оригінального зображення методом спостереження передбачає відновлення окремих фрагментів зображення такого ж розміру, як їх спотворений варіант. Експериментальний метод передбачає наявність такого ж обладнання, як і те, з допомогою якого було отримане спотворене. Моделі, що використовують під час ма-

тематичного моделювання, часто враховують навіть умови навколишнього середовища, що спричиняє спотворення.

**Висновки.** Наведено особливості та основні сфери застосування аерокосмічних зображень. Докладніше розглянуто метод дистанційного зондування Землі та кілька наявних систем зондування. Доведено актуальність задачі визначення типу та рівня шумів для зображень, зокрема аерокосмічних. Проаналізовано підходи до цієї задачі. Проведено зашумлення зображення та визначено рівень шуму з використанням залежності дисперсії шуму від інтенсивності зображення та визначенням ділянок однорідності.

#### Перелік використаних джерел

- Eremeev, V. V., Zenin, V. A., & Kniazkov, P. A. (2008). Statisticheskaya otsenka stepeni zashumlenosti kosmicheskikh izobrazhenii zemnoi poverkhnosti. *Vestnik RGRTU*, 2(24). Retrieved from: [http://www.rsreu.ru/en/component/docman/doc\\_download/545-3-7](http://www.rsreu.ru/en/component/docman/doc_download/545-3-7) (Date of treatment: 25.05.2018). [In Russian].
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Digital image processing*. (2nd ed.). New York: Upper Saddle River, 793 p.
- Healey, G., & Kondepudy, R. (1994). Radiometric CCD camera calibration and noise estimation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(3), 267–276.

- Kashkin, V. B., & Sukhinin, A. I. (2008). *Tsifrovaia obrabotka arokosmicheskikh izobrazhenii*. Versiia 1.0. IPK SFU. Retrieved from: [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/54/u\\_course.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/54/u_course.pdf) (Date of treatment: 20.05.2018). [In Russian].
- Kashtan, V. Yu. (2016). *Kompiuterno-hrafichni tekhnolohii veivlet-obroblennia fotohrametrychnykh skanernykh zobrazhen*. *Abstract of Candidate Dissertation for Technical Sciences* (05.01.01 – Applied Geometry, Engineering Graphics). Dnipro, 24 p. [In Ukrainian].
- Krivenko, S. S., Kolganova, E. O., & Lukin, V. V. (2013). *Filtratsiia izobrazhenii s ispolzovaniem preobrazovaniia Khaara v blokakh*. *Systemy obroblennia informatsii*, 8, 63–69. [In Russian].
- Liu, C., Freeman, W., Szeliski, R., & Kang, S. (2006). *Noise Estimation from a Single Image*. *Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Retrieved from: [http://people.csail.mit.edu/billf/publications/Noise\\_Estimation\\_Single\\_Image.pdf](http://people.csail.mit.edu/billf/publications/Noise_Estimation_Single_Image.pdf) (Date of treatment: 23.05.2018).
- Spectroradiometer. (2019). *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*. Retrieved from: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about> (Date of treatment: 25.05.2018).
- Stefano, A. De., White, P. R., & Collis, W. B. (2004a). *Training Methods for Image Noise Level Estimation on Wavelet Components*. *EURASIP Journal on advances in signal processing*, 16. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/26532314\\_Training\\_Methods\\_for\\_Image\\_Noise\\_Level\\_Estimation\\_on\\_Wavelet\\_Components/download](https://www.researchgate.net/publication/26532314_Training_Methods_for_Image_Noise_Level_Estimation_on_Wavelet_Components/download) (Date of treatment: 25.05.2018).
- Stefano, A., White, P., & Collis, W. (2004b). *Training methods for image noise level estimation on wavelet components*. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 16, 2400–2407.
- Sutour, C., Deledalle, C., & Aujol Sutour, J. (2015). *Estimation of the noise level function based on a non-parametric detection of homogeneous image regions*. *Journal on Imaging Sciences, Society for Industrial and Applied Mathematics*, 8(4). Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/1976/7f38908e3cce460fbee413a32321a86deed1.pdf> (Date of treatment: 22.05.2018).

**N. B. Shakhovska, O. I. Kosar**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

### **SPECIFICS OF OBTAINING AEROSPACE IMAGES, PROCESSING AND NOISE ESTIMATION FOR SUCH TYPE OF IMAGES**

This paper focuses on aerospace images as well as methods of their obtaining and application. The quality of received primary images does not often meet the needs of end-users. If the distortive factor for the image is noise, then first of all filters are used, which eliminate different types of noise. When choosing a filter type, the limitations associated with the computational complexity and hardware characteristics of the device must be considered. In order to increase the informativity of primary scanner images, synergistic fusion of photogrammetric data originating from several channels is often used to obtain high geometric and spectral differences in a graphic object. A group of modern systems and software tools is highlighted that is used to receive and process aerospace images. Specifics of such images are characterized in different spectral bands. Typical distortions for this type of images are described. Particular attention is paid to various types of noise. Noise estimate can be based on either one or multiple images. There are different methods for this. The existing methods of noise estimation for graphic images are analyzed. Those include the following types of methods: evaluation of the noise level function from a single image – using dependence of the noise dispersion on the intensity of the image and determination of homogeneity areas (in case of large sets of input data, the relative error in evaluating the noise level is typically within 10 %); evaluation of type and level of noise with image brightness histogram; evaluation based on a separate image using the piecewise-smooth function of the previous model of images and the response functions of cameras with charge communication; evaluation on the basis of the dependence of the autocorrelation function of images on the variance of additive noise; etc. It is also possible to determine the type and level of noise with the image brightness histogram. When using the experimental method, the same equipment should be used as the one which allows the distortion to be obtained. Several methods have been experimentally applied to assess the noise for an image from an open DOTA dataset.

**Keywords:** graphical images processing; remote sensing of the Earth; aerospace images; noises overlaying on graphical images; estimation of distortion type and degree.