

УДК 004.932.2

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-65-1-2

ПОЛОВИНКО І. І.¹, КАШУБА А. І.²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка

²Національний університет «Львівська політехніка»

КОЛІРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ КОСМОЗНІМКІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВІДБИТОГО ТА РОЗСІЯНОГО СВІТЛА

Представлена робота присвячена проблемі обробки космознімків, що є однією з найбільш актуальних галузей data science в області добування корисної інформації з великого масиву. На даний час існує ряд потужних комп'ютерних програм для обробки космознімків, які, однак, не завжди враховують всі особливості зображень, а також, як правило, їх використання є досить трудомістким. У роботі використана RGB модель, у якій кожен колір представляється червоними, зеленими і синіми первинними компонентами. Реалізована програма для обробки зображень мовою C#, завдяки якій можна ефективно змінювати зображення з метою покращення його сприйняття зором. Об'єктом дослідження, для колірної обробки, було використано космознімки річки Серет. У видимій області спектру виділено рівномірні тематичні зони, які відповідають за наявність води, рослинності та ґрунту. Рівномірність вибраної ділянки підтверджена колірною та гістограмною обробкою. Подібна картина, але меншої інтенсивності, спостерігається при реєстрації випромінювання, яке походить від фрагменту річки, що покритий зеленими насадженнями. При цьому синя складова практично непомітна, хоча на гістограмі її інтенсивність порівняльна з іншими складовими. Отриманий результат пояснюється релієвським розсіянням на молекулах води розташованих у поверхневих шарах. Дане явище можна пояснити вищою інтенсивністю (майже у п'ять разів) синього світла в порівнянні з червоним.

Ключові слова: космознімки, колірні моделі, гістограми, відбивання та розсіяння світла

POLOVYNKO I. I.¹, KASHUBA A. I.²

¹Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

²Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

INFLUENCE OF THE OF REFLECTION AND SCATTERING LIGHT ON COLOR CONVERSIONS OF THE SATELLITE IMAGERY

With the development of computer technology there are new opportunities for better image processing. Moreover, this applies not only to the visible range of electromagnetic radiation but also to the infrared, ultraviolet, X-ray and microwave range. However, the most effective remains the registration in the visible range (430-790 nm). This is primarily due to the structure of the human eye, which can distinguish up to $1.6 \cdot 10^7$ different color shades. It should also be noted that the qualitative processing of optical images is a prerequisite for machine vision.

The paper deals with the problem of processing satellite images, which is one of the most relevant fields of data science in the field of extracting useful information from a large array. There are a number of powerful computer programs for processing satellite images. However, don't always take into account all the features of images, and their use is quite laborious, as a rule. The RGB model is used in which each color is represented by red, green and blue primary components. In this work was released the computer program (on programming language of C#) which can be used to effectively modify images to improve their visual perception. As an example, a satellite image of the Seret River was used for RGB processing. The uniform thematic zones responsible for the presence of water, vegetation and soil were detection in visible region of the spectrum. The uniformity of the selected area is confirmed by color and histogram processing. A similar situation are realized when the radiation is emitted, which originates from a fragment of a river covered with green space, but the less intensity. In this case, the blue component is almost invisible. Although on the histogram its intensity is comparable to other components. The result is explained by the Rayleigh scattering on the surface molecules of water. The intensity of blue light is characterized by an intensity almost five times higher than red.

Keywords: satellite imagery, color models, histograms, reflection and scattering light

Вступ. Постановка задачі. Обробка космознімків є одним з найбільш актуальних галузей data science в області отримання корисної інформації з великого масиву даних [1–4]. З цієї метою широко використовуються технології машинного навчання. Ринок космічних знімків високого розділення змінюється дуже швидко. Однак, сама наявність таких знімків ще не значить, що є можливість їх успішної обробки. Космічні знімки високої роздільної здатності володіють рядом особливостей пов'язаних з їх природою: складна геометрія знімальної камери, вузька смуга огляду і як наслідок малий розмір кадру, складність отримання стереозображення.

Традиційно колірна обробка космознімків відбувається шляхом спектральної оптичної фільтрації, яка базується на оптичному принципі взаємності. Цей принцип передбачає, що при проходженні променів через оптичну систему вони залишаються взаємними, тобто при зміні руху променів на зворотній, їх взаємне розміщення не змінюється [5]. Це також стосується розкладу випромінювання на спектральні складові. Разом з тим слід відмітити, що принцип взаємності не завжди має місце і тому до його використання треба підходити з обережністю. Так, у випадку хвилеводного поширення світла у тонких плівках, вхід та вихід випромінювання не є симетричним [6]. Робота сенсорів також залежить від

різноманітних факторів, наприклад: в процесі отримання зображення за допомогою ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком) матриці виникають шуми. Причому основними факторами, що впливають на величину шумів є рівень освітленості та температура. В процесі передачі зображення, воно може також спотворюватись завадами, що виникають в каналах зв'язку.

На даний час, існує ряд потужних комп'ютерних програм для обробки космознімків [2–3]. Сюди відноситься пакет ERDAS IMAGINE який містить у своєму інструментарії як моделі вбудованих камер що описують поширені камери, так і моделі якими можна описувати панорамні камери, PHOTOVOD та ін. Однак ці програми не завжди враховують всі особливості зображень, а також, як правило їх використання є досить трудомістке. Тому, їх застосування для тих випадків коли необхідно виділити лише деяку певну особливість космознімків, є малоефективним.

Попередні роботи. У представленій роботі запропоновано метод обробки космознімків, який базується на колірній обробці зображень з наступним зняттям гістограми. У роботі використана RGB модель [7], у якій кожен колір представляється червоним, зеленим і синім первинними основними кольорами (компонентами).

При обробці космознімків у видимій області спектру виділяються тематичні зони, які пов'язані із колірним аналізом [7]. Так, синій колір на зображенні відповідає за наявність води, зелений – за рослинність, та червоний - за наявність ґрунту (див. таблицю 1).

Таблиця 1

Тематичні спектральні зони [7]

Канали зображення	Спектральні канали знімку	Колір води на зображенні	Колір рослинності на зображенні	Колір ґрунту на зображенні
R(682nm)	Червоний			Червоний
G(532nm)	Зелений		Зелений	
B(465nm)	Синій	Синій		

Метою роботи є дослідження ефективності використання RGB моделі [7] для аналізу космознімків та реалізація даної методики на одній із мов програмування.

Основна частина. Експериментальні дослідження. У представленій роботі була реалізована програма для обробки зображень мовою C#. Дана програма дозволяє змінювати зображення для покращення їх вигляду та сприйняття зором. Основна функція програми полягає у можливості виділення із зображення одного з основних кольорів: червоного, синього або зеленого. Крім того, використовуються такі ефекти, як зміна яскравості, контрасту, перевід зображення в негатив та у градації сірого. Як приклад, для колірної обробки використано русло річки Серет (рис. 1, 2). На рис. 1 (а) показано фрагмент річки, на якому приблизно рівномірно проявляються області води, зеленої рослинності та ділянки ґрунту.

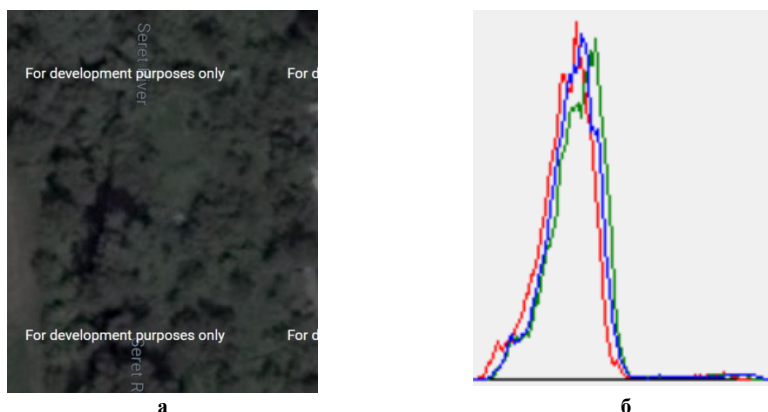


Рис. 1. Фрагмент річки Серет (а) та її гістограма (б)

На рис. 1 (б) показано гістограму обраної ділянки річки (рис. 1(а)). Вказана гістограма представляє залежність кількості пікселів від величини зареєстрованої ними інтенсивності падаючого випромінювання. Області води, рослинного покриття та ґрунту позначені синім, зеленим та червоним кольором відповідно. Інтенсивність сигналу, що поступає від тематичних зон є приблизно однакова (див. рис. 1 (б)).

Подібна картина, але меншої інтенсивності, спостерігається при реєстрації випромінювання, яке походить від фрагменту річки, що покритий зеленими насадженнями (див. рис. 3, 4). Як видно з рис. 3(б), всі ділянки спектру приблизно однаково представлені на гістограмі. Однак, якщо подивитись на спектральні складові то бачимо, що зелена та червона складові проявляється досить чітко, тоді як синя складова практично непомітна.

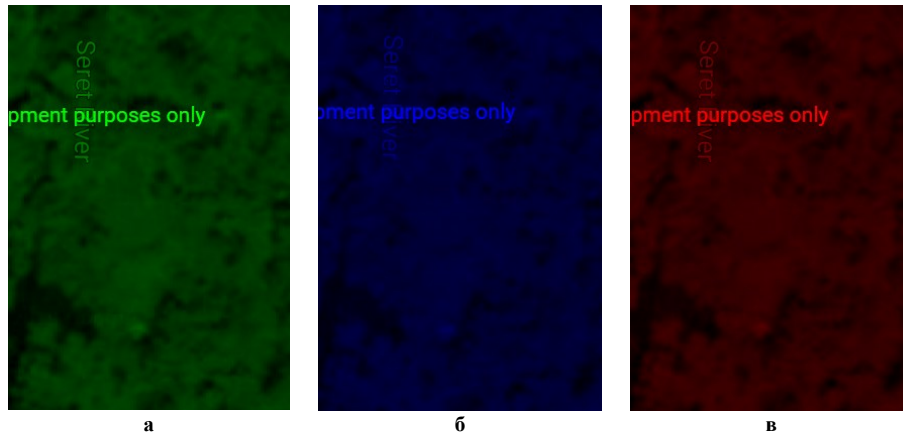


Рис. 2. Зображення рис. 1(а) у зеленій (а), синій (б) та червоній (в) спектральних областях

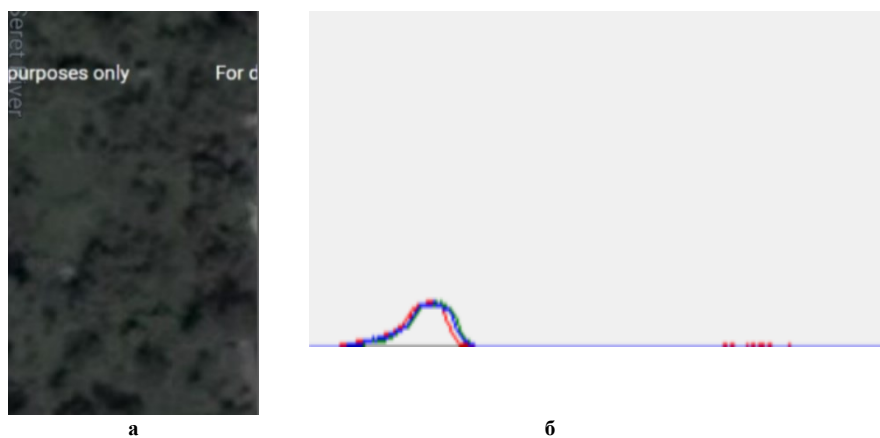


Рис. 3. Ділянка річки покрита зеленню (а) та її гістограма (б)

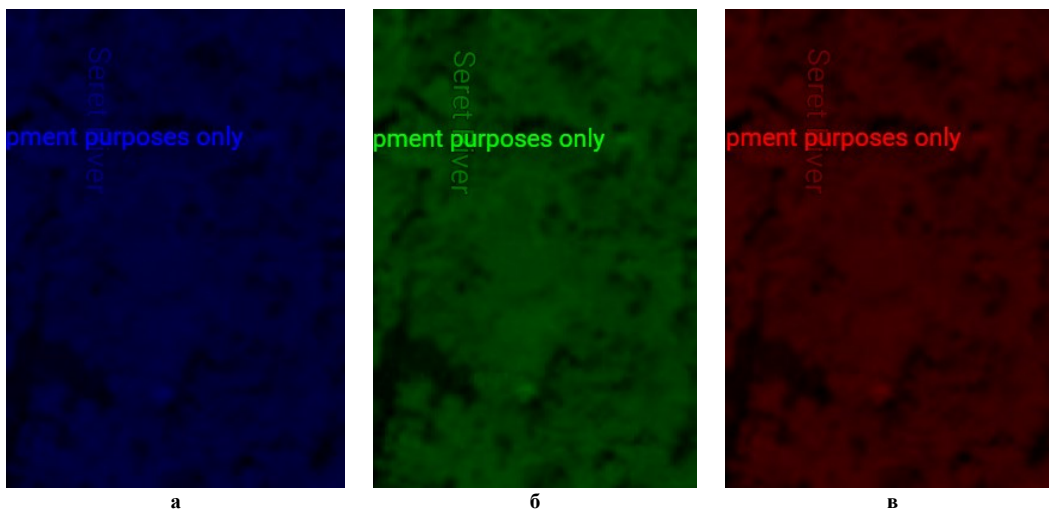


Рис. 4. Зображення рис. 3(а) у синій (а), зеленій (б) та червоній (в) спектральних областях

Щоби пояснити отриманий результат, необхідно врахувати, що у нашому випадку зображення формується за допомогою двох ефектів – відбивання та розсіяння. Для опису ефектів пов'язаних з відбиванням будемо вважати, що зображення описується двомірною функцією $f(x,y)$. Причому, значення функції f у точці (x,y) є додатною скалярною величиною, фізичний зміст якої визначається джерелом зображення. Якщо зображення генерується в результаті певного фізичного процесу, то значення інтенсивності пропорційне енергії випромінювання цього джерела, а отже функція $f(x,y)$ має бути скінченною. Тобто:

$$0 < f(x, y) < \infty \quad (1)$$

В цьому випадку функція $f(x, y)$ характеризується двома компонентами: величиною світлового потоку, що падає на досліджувану поверхню і відносною частиною світлового потоку, відбитого від об'єкту. Ці величини, відповідно, називаються освітленістю та коефіцієнтом відбивання і позначаються як $i(x, y)$ і $r(x, y)$. Добуток цих функцій дає функцію, що описує зображення:

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (2)$$

де

$$0 < i(x, y) < \infty \quad (3)$$

$$0 < r(x, y) < 1 \quad (4)$$

У випадку кольорових зображень функцію $f(x, y)$ можна розглядати як таку, що складається з трьох складових кольорів кожний з яких описується у рівнях сірого для кожної точки зображення. При цьому:

$$l = f(x_0, y_0) \quad (5)$$

Із співвідношень (2)–(4) випливає:

$$L_{\min} \leq l \leq L_{\max} \quad (6)$$

Інший ефект, який виникає при попаданні світла на об'єкт, це розсіяння на сферичних частинках, розміри яких є малими у порівнянні з довжиною хвилі падаючого світла. Стретт Д.В. (лорд Релей) показав, що для падаючого світла з інтенсивністю i_0 , інтенсивність розсіяного світла i визначається за формулою:

$$i = i_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N V^2}{2\lambda^4 D^2} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (7)$$

де N – число частинок в об'ємі, які зазнають розсіяння, V та ε – об'єм та діелектрична проникливість частинки, ε_0 – діелектрична проникливість середовища в якому розміщені частинки [8–9], θ – кут розсіяння, D – віддаль від об'єму, що розсіюється до точки спостереження.

Як видно із представленої формули, інтенсивність розсіяного світла i обернено пропорційна четвертій ступені довжини хвилі, що знаходиться у відповідності з експериментальними дослідженнями.

Формула (7) також містить множник $\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2$, який характеризує ступінь оптичної неоднорідності.

Зокрема, якщо $\varepsilon = \varepsilon_0$ то оптична неоднорідність зникає [9], а разом з нею і розсіювання.

Виходячи із наведених міркувань, отримані результати можна пояснити наступним чином: якщо спостерігаються сцени відносно великих розмірів із рівномірно розподіленими тематичними зонами, то в отриманому зображенні інтенсивність спектральних складових є приблизно однакою. При цьому інтенсивність зображення описується формулою (2), а гістограма відображає приблизно рівномірний розподіл.

У випадку зображення представленого на рис. 3(а), де синя складова закрита зеленою поверхнею, слід було очікувати значне зменшення відбивання у синій області. Це підтверджується спектральними складовими, представленими на рис. 4, де синьої складової практично не помітно. Разом з тим, на гістограмі інтенсивність синьої складової є порівняно незначною із зеленою та червоною. Отриманий результат пояснюється тим, що для синьої складової суттєву роль починає відігравати ефект розсіяння, що описується формулою (7). Розсіяння відбувається на молекулах води, що знаходяться у приповерхневому шарі у вигляді пари. Розміри молекул води (~0,3 нм) є суттєво меншими за довжину хвилі світлового випромінювання у видимій області (450 – 700 нм) спектру. Для навколишнього середовища $\varepsilon_0 = 1$, а для води $\varepsilon = 81$, тому множник $\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2$ у формулі (7) суттєво не вплине на величину розсіяння.

Таким чином, основний вплив буде здійснювати частина виразу (7):

$$i' = \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{\lambda^4} \quad (8)$$

Таблиця 2

Відносна інтенсивність світла розсіяного малими частинками для основних кольорів

λ , нм	$i' / i'_{\text{черв}}$
682-червоний	1
532-зелений	3,7
465-синій	4,6

В таблиці 2 представлено розрахунки величини i' для зеленого та синього кольорів по відношенню до червоного. Як видно з цієї таблиці, інтенсивність розсіяння світла синього кольору значно більша ніж для червоного та зеленого. Це пояснює появу на гістограмі синьої складової з інтенсивністю співмірною із зеленою та червоною складовими.

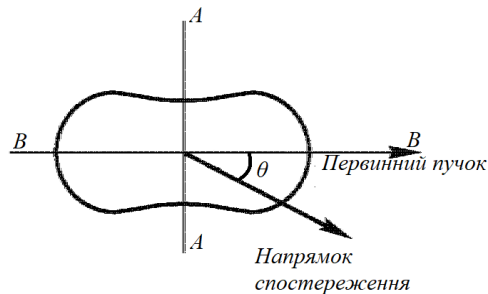


Рис. 5. Індикатриса розсіяння світла частинками, розміри яких є малими у порівнянні з розмірами довжини хвилі

Вираз (8) також пояснює той факт, чому фільтрація за допомогою синього фільтра приводить практично до зникнення самого зображення. Очевидно, що на зображенні спостерігається відбите світло, в той час, як на нього накладається розсіяне. Як видно з рис. 5, де зображена індикатриса розсіяння, світло розсіюється практично рівномірно під різними кутами. При цьому виникає синій фон, який пізніше проявляється на гістограмі у вигляді пікселів різної інтенсивності.

Висновки. Розглянуто метод RGB дослідження та аналізу космознімків природних поверхонь. Об'єктом дослідження було обрано космознімки річки Серет. На мові програмування C# розроблено програму для аналізу зображень із використанням заявленого методу.

В результаті досліджень було отримано експериментальні гістограми. Їхній аналіз проводився на основі ефектів відбивання та розсіяння світла. У випадку розгляду об'єктів відносно великих розмірів із рівномірно розподіленими тематичними зонами інтенсивність спектральних складових є приблизно однакова, а гістограма відображає приблизно рівномірний розподіл. Встановлено, що інтенсивність розсіяння світла синього кольору значно більша ніж для червоного та зеленого. Отриманий результат пояснюється тим, що для синьої складової суттєву роль починає відігравати ефект розсіяння.

Розглянутий метод RGB може бути використаний для виявлення води покритої зеленими насадженнями, що є актуальним завданням сьогодення під час моніторингу навколишнього середовища.

Література

1. Sanchez J. Space image processing / J. Sanchez, M.P. Canton. — CRC Press. — 1998. — 440.
2. Наумов С.В. Особенности обработки космических снимков высокого разрешения / С.В. Наумов // ГИС и ДДЗ. — 2001. — № 2. — с. 17.
3. Сергеев В.В. Анализ и обработка изображений получаемых при наблюдении Земли из космоса / В.В. Сергеев // Компьютерная оптика. — 2006. — № 29. — С. 43-57.
4. Polovynko, I., Kashuba, A. (2019). Method of space image improvement by using spatial optical mask and frequency filters, Electronics and information technologies, 12, 55–63. DOI: <https://doi.org/10.30970/eli.12.6>
5. Ландсберг Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. — 848.
6. Integrated optics / Editors: Tamir, T. (Ed.). — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1975. — p. 318. ISBN 978-3-662-43208-2. DOI: 10.1007/978-3-662-43208-2
7. Gonzales R. Digital image processing (2th) / R. Gonzales, R. Woods. — Prentice Hall. — 2017. — 802.
8. Ilchuk H.A., Kashuba A.I., Petrus R.Yu., Semkiv I.V., Ukrainets N.A. (2020). Simulation the spectral dependence of the transmittance for semiconductor thin films, Physics and chemistry of solid state, Vol.21. — №1. — P. 57-60.
9. Petrus R.Yu., Ilchuk H.A., Kashuba A.I., Semkiv I.V., Zmiiivska E.O., Lys R.M. (2019). Optical Properties of Materials for Solar Energy Based on Cadmium Chalcogenides Thin Films, Physics and chemistry of solid state, Vol.20. — №4. — P. 367-371.

Reference

1. Sanchez J. Space image processing / J. Sanchez, M.P. Canton. — CRC Press. — 1998. — 440.
2. Naumov S.V. Osobennosti obrabotki kosmicheskikh snimkov vysokogo razresheniya / S.V. Naumov // GIS i DDZ. — 2001. — № 2. — s. 17.
3. Sergeev V.V. Analiz i obrabotka izobrazheniy poluchaemykh pri nablyudenii Zemli iz kosmosa / V.V. Sergeev // Kompyuternaya optika. — 2006. — № 29. — S. 43-57.
4. Polovynko, I., Kashuba, A. (2019). Method of space image improvement by using spatial optical mask and frequency filters, Electronics and information technologies, 12, 55–63. DOI: <https://doi.org/10.30970/eli.12.6>
5. Landsberg G.S. Optika / G.S. Landsberg. — M.: FIZMATLIT. 2003. — 848.
6. Integrated optics / Editors: Tamir, T. (Ed.). — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1975. — p. 318. ISBN 978-3-662-43208-2. DOI: 10.1007/978-3-662-43208-2
7. Gonzales R. Digital image processing (2th) / R. Gonzales, R. Woods. — Prentice Hall. — 2017. — 802.
8. Ilchuk H.A., Kashuba A.I., Petrus R.Yu., Semkiv I.V., Ukrainets N.A. (2020). Simulation the spectral dependence of the transmittance for semiconductor thin films, Physics and chemistry of solid state, Vol.21. — №1. — P. 57-60.
9. Petrus R.Yu., Ilchuk H.A., Kashuba A.I., Semkiv I.V., Zmiiivska E.O., Lys R.M. (2019). Optical Properties of Materials for Solar Energy Based on Cadmium Chalcogenides Thin Films, Physics and chemistry of solid state, Vol.20. — №4. — P. 367-371.

Надійшла / Paper received: 22.03.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020