

С.І. Березіна¹, О.О. Клімішен¹, Д.В. Карлов¹, О.О. Дичко²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

² Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ», Харків

МЕТОДИКА ТОНОВОЇ ТА КОЛЬОРОВОЇ КОРЕКЦІЇ РІЗНОРІДНИХ І РІЗНОЧАСОВИХ ДАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

У статті наведені дослідження процесу обробки синтезованих зображень, які у свою чергу є результатом поєднання даних різноманітних систем аерокосмічного спостереження визначеного району земної поверхні у різні часи. Комплексування таких даних обумовлено необхідністю відстеження динаміки змін у визначеному районі. Проаналізовано чинники, що впливають на контрастну та тонову насиченість знімка. Обґрунтовано підхід до корегування тонової насиченості різнорідних та різночасових знімків окремого району спостереження. Продемонстровані труднощі, які проявляються при корекції тонової насиченості різнорідних та різночасових знімків. Було з'ясовано, що при дослідженні закономірностей зміни кольорових характеристик різнотонових зображень найбільш доцільною для використання виявляється модель HSV.

Ключові слова: оптико-електронні системи, синтезовані зображення, аерокосмічні знімки, тонова насиченість, яскравість, оптичні характеристики об'єктів зйомки, характеристики знімальної апаратури.

Вступ

Постановка проблеми. Аерокосмічні знімки як інформаційні моделі місцевості характеризуються рядом властивостей, серед яких виділяють образотворчі, радіометричні і геометричні. Образотворчі властивості характеризують здатність знімків відтворювати дрібні деталі, кольори і тонові градації об'єктів. Радіометричні свідчать про точність кількісній реєстрації знімком яскравості об'єктів. Геометричні характеризують можливість визначення по знімках розмірів, довжин і площ об'єктів і їх взаємного положення.

Властивості знімків, що отримуються в різних діапазонах і різною знімальною апаратурою, істотно розрізняються. Кадрові, передусім фотографічні знімки, що відрізняються найвищою геометричною точністю, найбільш придатні для точних вимірів. Знімки сканерів, що отримуються в усіх спектральних зонах оптичного діапазону, включаючи інфрачервону теплову, можуть реєструвати більше енергетичних рівнів випромінювання і мають найбільш високу радіометричну точність. Радіолокаційні знімки за своїми геометричними і радіометричними властивостями поступаються фотографічним і сканерам, але їх можна отримувати у будь-яку погоду, навіть коли земна поверхня закрита суцільним хмарним покривом. Важливими показниками знімка служать охоплення і розрізненість.

Таким чином, виникає необхідність у визначенні чинників, які впливають на тонову та кольорову насиченість знімка.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Зазвичай для географічних досліджень потрібно знімки великого охоплення і високої розрізненості. Про-

те задовольнити всі суперечливі вимоги в одному знімку не вдається. Зазвичай чим більше охоплення отримуваних знімків, тим нижче їх розрізненість. Тому лише комплексування знімків, які отримано з різних носіїв, може задовольнити вимоги до вхідних даних при дешифруванні [1–17].

Однак, при створенні синтезованого зображення виникає ефект мозаїчності (рис. 1), для його усунення необхідно проводити додаткову обробку синтезованого зображення. Окрім того, для автоматичного виявлення малоконтрастних і замаскованих об'єктів та визначення динаміки сцени огляду, при яких використовуються кольорові ознаки, необхідно приводити різночасові знімки до однакової тонової насиченості.



Рис. 1. Ефект мозаїчності при створенні синтезованого зображення

Таким чином, **мета статті** полягає у створенні методики тонової та кольорової корекції різнорідних і різночасових даних оптико-електронних систем спостереження.

Виклад матеріалів дослідження

Визначимо основні фактори, які суттєво впливають на кольорові та тонові характеристики зображень.

Передусім серед факторів, що впливають на контрастність та тонову насиченість знімка, необхідно виділити наступні.

Оптичні характеристики об'єктів. Первинною оптичною відбивною характеристикою об'єктів є їх яскравість.

На неї впливає освітленість, яка складається з освітленості прямим сонячним світлом, розсіяним світлом небозводу і світлом, відбитим від сусідніх об'єктів (відповідно до двох систем вимірів абсолютну енергетичну яскравість виражають у ватах на стерadian – квадратний метр, а фотометричність – в канделах на квадратний метр (кд/м²) [17].

Для об'єктів земної поверхні найбільш важливими є коефіцієнти інтегральної і спектральної яскравості, контраст яскравості і індикатриса відбиття. Коефіцієнт інтегральної (ахроматичної) яскравості γ^* характеризує відносну величину відбитого потоку випромінювання в заданому напрямку в порівнянні з потоком світла, якій попадає на поверхню. Він визначається як відношення яскравості об'єкту B^* до яскравості абсолютно білої матової поверхні (еталону). Але й для одного та того ж об'єкта коефіцієнт γ^* може змінюватись в певних межах.

Якщо ділянку місцевості розглядати як сукупність n окремих об'єктів площею S_i в межах якої γ^* не змінюється, то середнє значення коефіцієнта інтегральної яскравості $\gamma_{\text{ср}}^*$ для ділянки в цілому можна представити як

$$\gamma_{\text{ср}}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \overline{S_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{S_i}} \quad (1)$$

Необхідно враховувати, що абсолютна величина яскравості, визначувана відбивними властивостями об'єкту, функціонально залежить ще і від відносного положення Сонця, знімальної системи і об'єкту, а також від нахилу віддзеркалюваної поверхні, тобто від рельєфу місцевості (рис. 2).

Схили на місцевості з однаковими відбивними властивостями, але різними кутами нахилу матимуть різну яскравість і відобразяться на знімку різним тоном. Таким чином, на поле яскравості місцевості істотно впливають рельєф і умови освітлення.

Контраст яскравості застосовується для характеристики відмінностей яскравості двох об'єктів (чи

суміжних деталей одного об'єкту) з яскравістю B_1^* та B_2^* ($B_1^* < B_2^*$).

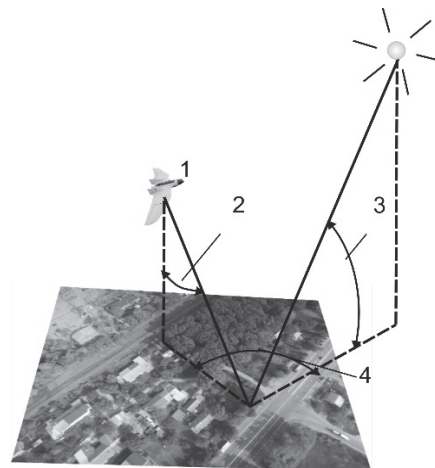


Рис. 2. Геометрія освітлення і спостереження при визначенні яскравості об'єктів земної поверхні:

- 1 – знімальна апаратура; 2 – кут візування;
- 3 – висота Сонця; 4 – азимут візування

Застосовують декілька взаємозв'язаних виразів для контрасту. Серед них найбільш часто використовують відносний K_0 та візуальний K_B контрасти:

$$K_0 = \frac{B_2^*}{B_1^*}; \quad (2)$$

$$K_B = \frac{B_2^* - B_1^*}{B_2^*} = 1 - \frac{1}{K_0}. \quad (3)$$

Індикатриса віддзеркалення – це сукупність коефіцієнтів яскравості об'єкта по різних напрямках. Її зображують графічно у вигляді полярної діаграми. Для багатьох природних об'єктів характерна змішана індикатриса віддзеркалення з двома максимумами: один направлений у бік дзеркального віддзеркалення, інший – до джерела світла (Сонця). Індикатриса віддзеркалення роблять вплив на особливості зображення однієї і тієї ж місцевості на знімках, отриманих при різних напрямках зйомки.

На земній поверхні найбільш поширені забарвлені (хроматичні) об'єкти. Вважається, що природна палітра місцевості включає близько 60 000 кольорних відтінків. Яскравість таких об'єктів в різних спектральних зонах неоднакова і характеризується коефіцієнтами спектральної яскравості γ_λ^* . Значення коефіцієнтів спектральної яскравості для різних довжин хвиль представляють у формі графіку – кривої спектральної яскравості. У аерокосмічному зондуванні розрізняють криві спектральної яскравості об'єктів, які отримують за результатами прямих спектромет-

ричних вимірів, і так звані криві спектрального образу.

Основний шлях вивчення спектральної здатності віддзеркалення – експериментальний. Спектральні яскравості або коефіцієнти спектральної яскравості і індикатриси віддзеркалення отримують на основі абсолютних або відносних вимірів, що виконуються за допомогою фотоелектричних спектрометрів. Методика відносного спектрометрування, яке найбільш поширене, базується на формулі:

$$r_{\lambda}^* = \frac{B_{\lambda}^*}{B_{0\lambda}^*}, \quad (4)$$

де B_{λ}^* – спектральна яскравість об'єкта;

$B_{0\lambda}^*$ – спектральна яскравість еталона.

Тому окрім виміру випромінювання від досліджуваного об'єкту необхідно також зареєструвати випромінювання від еталону, при цьому об'єкт і еталон повинні знаходитися за однакових умов освітлення. В якості еталону застосовують матеріали з добре відомими і стабільними в часі оптичними характеристиками. Спектрометричні виміри, які виконують з точністю 5–10%, можуть бути лабораторними, польовими, літаковими і космічними.

Більш того, коефіцієнти спектральної яскравості варіюють в певних межах і для об'єктів одного виду. Так, на відбивну здатність гірських порід впливає запиленість, різні поверхневі вицвіти і кірки, спектральне відображення яких в порівнянні з початковою породою може істотно відрізнятись. При підвищенні вологості ґрунтів їх яскравість зменшується (при повному насиченні водою – в два рази), але характер кривої спектральної відбивної здатності не змінюється.

З усіх об'єктів суші рослинний покрив має найбільш інформативні спектральні характеристики, які чуйно реагують на його мінливість. Відбивна здатність водних об'єктів сильно залежить від змісту у воді фітопланктону і її забруднення – наявності зважених часток, нафтової плівки і так далі. Забруднення снігу і зміст в нім води також приводять до змін відбивної здатності.

Таким чином, спектральна відбивна здатність залежить від властивостей об'єктів, їх стану, а також від сезону.

Дистанційно пізнавати об'єкти і оцінювати їх стан можливо не лише за величиною коефіцієнта спектральної яскравості, але і по спектральній індикатрисі відображення. Існує багато об'єктів на земній поверхні, які по різних напрямках відбивають випромінювання різного спектрального складу.

Наприклад, у складі відбитого випромінювання поля квітучого соняшнику в східному напрямі завжди переважають помаранчево-червоні промені, а в західному – зелені. Тому коефіцієнти спектральної яскравості природного об'єкту, що виміряні при візуванні під різними кутами до земної поверхні, можуть служити його кількісними спектральними ознаками.

Таким чином виявлено, що тонова насиченість об'єктів на знімку залежить не лише від пори року, а і від взаємного розташування сонця та знімальної апаратури, стану об'єктів зйомки та їх вологості.

Характеристики знімальної апаратури, які впливають на тонову насиченість знімків. Основними характеристиками знімальної апаратури, які впливають на тонову насиченість знімків, отриманих при аерокосмічних дослідженнях, є радіометрична та спектральна чутливість.

Світлочутливість матриці складається зі світлочутливості усіх її фотодатчиків і в цілому залежить від:

- інтегральної світлочутливості, що є відношенням величини фотоефекту до світлового потоку (у люменах) від джерела випромінювання нормованого спектрального складу;

- монохроматичної світлочутливості – відношення величини фотоефекту до величини світлової енергії випромінювання (у миліелектронвольтах), відповідно певної довжини хвилі;

- набір усіх значень монохроматичної світлочутливості для вибраної частини спектру світла складає спектральну світлочутливість – залежність світлочутливості від довжини хвилі світла.

Графіки спектральної чутливості знімальної апаратури КА «IKONOS» представлені на рис. 3–4 [6].

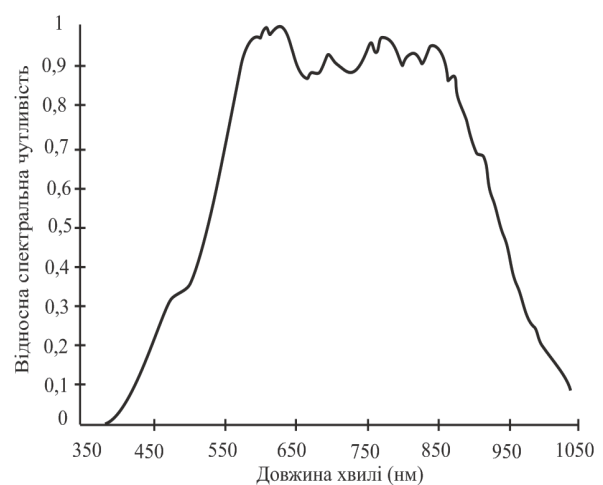


Рис. 3. Спектральна чутливість панхроматичних каналів знімальної апаратури КА «IKONOS»

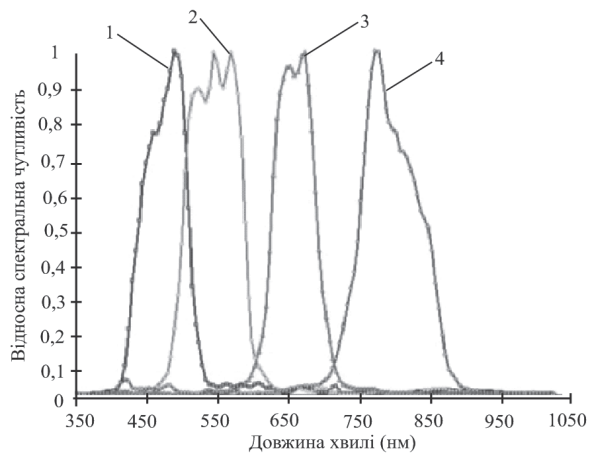


Рис. 4. Спектральна чутливість мультиспектральних каналів знімальної апаратури КА «IKONOS»:
 1 – блакитний; 2 – зелений;
 3 – червоний; 4 – ближній інфрачервоний

Спектральне розрізнення знімків надзвичайно важливо при дешифруванні, коли виділення меж об'єктів і їх зміст встановлюються з урахуванням спектральної відбивної здатності елементів місцевості. Кількість каналів, їх ширина можуть значно змінюватися в залежності від апаратури зйомки, тому знімки, отримані з різних носіїв, навіть за усіх рівних умов будуть значно відрізнятися за кольоровими та тоновими характеристиками.

Радіометрична чутливість визначає діапазон помітних на знімку яскравостей. Радіометрична роздільна здатність визначається кількістю градацій значень кольору, що відповідають переходу від яскравості абсолютно "чорного" до абсолютно "білого", і виражається у кількості біт на піксель зображення. Це означає, що у разі радіометричного розділення 6 біт/піксель маємо 64 градації яскравості ($2^6 = 64$); у разі 8 біт/піксель – 256 градації ($2^8 = 256$), 11 біт/піксель – 2048 градацій ($2^{11} = 2048$). 8 біт/піксель найбільш близьке значення до миттєвого динамічного діапазону зору людини [7].

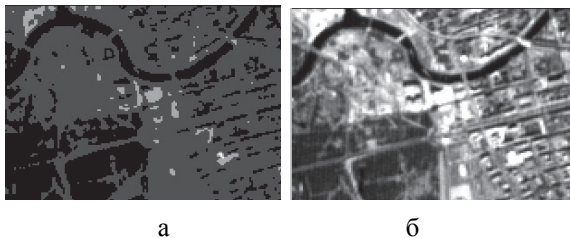


Рис. 5. Вплив радіометричного розділення на якість знімка
 а – радіометричне розділення 2 біта/піксель;
 б – радіометричне розділення 8 біт/піксель

Тому побутова знімальна апаратура, яка використовується на БПЛА класу міні та мікро, а також апаратура відображення (монітор комп'ютера) ма-

ють розділення 8 біт/піксель. А, як правило, сенсори, встановлені на супутниках ДЗЗ, мають радіометричне розділення не гірше 10 біт/піксель. Приклади космічних знімків з різним радіометричним розділенням представлені на рис. 5 [8].

Радіометричне розрізнення знімків визначає можливість виділення об'єктів за їх характеристиками яскравості і, як показує досвід, повинно бути не менше 8–10 біт/піксель. Збільшення радіометричного до 11–13 збільшує надійність виявлення об'єктів в тінях та дуже яскравих зонах знімка. Наприклад, знімальна апаратура на WorldView-1, WorldView-2, IKONOS, QuickBird, GeoEye-1 має радіометричне розділення 11 біт/піксель, що дозволяє отримати якісні знімки, велику площу яких займають водна поверхня та суша [8].

Однак побутова знімальна апаратура, яка використовується на БПЛА класу міні та мікро, має розділення 8 біт/піксель, а апаратура, яка розташована на космічних апаратах – більш 8 біт/піксель. При відображенні на моніторі комп'ютера здійснюється перехід до 8 біт/піксель, який передбачено його характеристиками. Це спричиняє за собою різницю яскравих характеристик знімків, отриманих різними джерелами.

Корегування тонової насиченості знімків. Як видно з вищесказаного, якість знімка визначається не лише розподільчою здатністю, яка у свою чергу залежить від елементів зовнішнього орієнтування, фокусної відстані, розміру ПЗЗ-чарунки, принципу зчитування інформації, так і від спектральних і радіометричних характеристик знімальної апаратури, умов освітленості і оптичних характеристик об'єкту зйомки. Це ускладнює реалізацію алгоритмів автоматичного виділення і моніторингу малокоонтрастних об'єктів, спричиняє за собою ефект мозаїчності на синтезованому зображенні (рис. 1).

При дослідженні закономірностей зміни кольорових характеристик різнотонових зображень, було обрано різночасові знімки однієї території, які отримано з різних КА (рис. 6) [9].

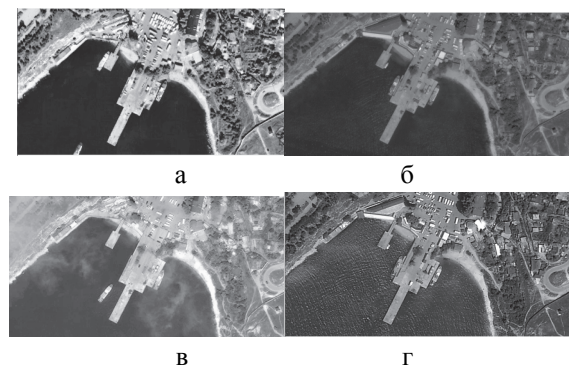


Рис. 6. Вхідні дані для дослідження можливості компенсації невідповідності кольорових характеристик знімків

Кольорові характеристики даних знімків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Значення показників характеристик
різночасових знімків

Кольорові характеристики	Значення показників			
	Знімок а	Знімок б	Знімок в	Знімок г
Відносна яскравість	0,4334	0,3346	0,5442	0,3792
Тоновий контраст	0,8239	0,3917	0,6769	0,437
Тонова насиченість	18,775	17,8222	13,628	13,527

Як видно з отриманих результатів, жоден з приведених показників характеристик кольору знімка не може бути використано для визначення поправочних коефіцієнтів для коригування кольору зображення.

Також при аналізі характеристик гістограм кольорових складових зображення у кольоровому просторі RGB, що пов'язує інтенсивність I у даному спектральному діапазоні (0...255) з ймовірністю P(I) виникнення пікселя з інтенсивністю I на знімку, отримано схожий висновок щодо неможливості використання математичного сподівання для визначення поправочних коефіцієнтів для коригування кольору зображення. Мова йдеться про математичне сподівання, яке показує середнє значення кольорових складових зображення.

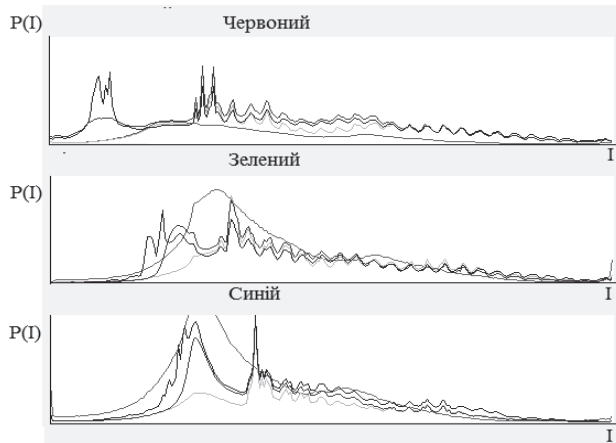


Рис. 7. Порівняння гістограм розподілення кольорових складових зображень

На рис. 7 сумісно відображені гістограми кольорових складових зображень та видно, що гістограми не мають закономірності, яка би могла бути використана для їх корегування. Але можливо припустити, що відтінок аналізованих зображень буде значно відрізнятися. Для цього проведемо перехід від кольорового простору RGB в кольоровий простір HSV. У загальному випадку, в кольоровому просторі HSV будь-який колір виходить із спектрального кольору додаванням певного відсотка білої та чорної фарби.

Оскільки колірна модель HSV ґрунтується на кольірних компонентах R, G, B, існують формули переходу між цими двома моделями.

Вважаємо, що: $H \in [0, 360]$, $S, V, R, G, B \in [0, 1]$, MAX – максимальне значення з R, G та B, а MIN – мінімальне з них.

$$H = \begin{cases} 0, \text{ коли MAX} = \text{MIN}; \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 0, \text{ коли MAX} = R \text{ та } G \geq B; \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 360, \text{ коли MAX} = R \text{ та } G < B; \\ 60 \times \frac{B - R}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 120, \text{ коли MAX} = G; \\ 60 \times \frac{R - G}{\text{MAX} - \text{MIN}} + 240, \text{ коли MAX} = B; \end{cases} \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{ коли MAX} = 0; \\ 1 - \frac{\text{MIN}}{\text{MAX}}; \end{cases} \quad (6)$$

$$V = \text{MAX}. \quad (7)$$

Переваги моделі :

- добре узгоджується із сприйняттям людини;
- колірний тон є еквівалентом довжини хвилі світла, насиченість – інтенсивності хвилі, а яскравість – кількості світла.

Як видно з рис. 8, на якому приведені характеристики гістограм кольорових складових зображення (знімок б), при переході у кольоровий простір HSV, у зв'язку з нелінійністю характеристик спектральних чутливостей ПЗЗ-матриць, немає можливості відкоригувати загальний тон знімку.

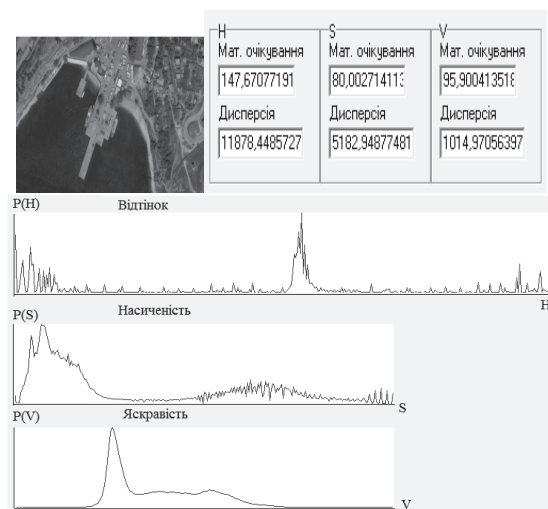


Рис. 8. Характеристики гістограм кольорових складових зображення у кольоровому просторі HSV

Порівняння гістограм всіх чотирьох зображень, що оброблялися, наведено на рис. 9.

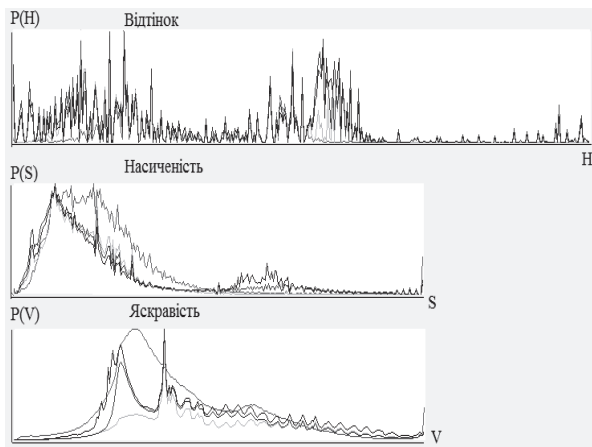


Рис. 9. Порівняння гістограм розподілення кольорових складових зображень у кольоровому просторі HSV

Висновки

Таким чином виявлено, що основними факторами, які впливають на кольорові характеристики

отриманих знімків, є індикатриса відбиття, умови освітленості, спектральна та радіометрична чутливості знімальної апаратури.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що методика тонової та кольорової корекції різномірних і різночасових даних оптико-електронних систем спостереження повинна включати попередню сегментацію знімків, визначення ідентичних зон та визначення за ними корегуючих значень, які доцільно отримувати і використовувати в кольоровому просторі HSV. Перехід від кольорового простору RGB к кольоровому простору HSV дозволить виключити спотворення передачі кольорів. Корекція по значенню H компенсує невідповідність спектральних та радіометричних характеристик знімальної апаратури, а корекція по значенню V – умови освітленості.

Використання приведеної методики дозволить уникнути ефекту мозаїчності на синтезованому зображенні або автоматизувати процес визначення динаміки зони спостереження з використанням кольорового вектора параметрів.

Список літератури

1. Самойленко О.В. Перспективи розвитку наземних комплексів приймання та цифрової обробки матеріалів повітряної розвідки Збройних Сил України / О.В. Самойленко, С.О. Пономаренко, М.О. Ладик // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2016. – Вип. № 12(19). – С. 115-120.
2. Гук А.П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов / А.П. Гук // Известия высших учебных заведений. – 2015. – № 65. – С. 166-169.
3. Farooque M.Y. Latest trends on image segmentation schemes / M.Y. Farooque, M.S. Raean // International journal of advanced research in computer science and software engineering. – 2014. – Vol. 4, № 10. – P. 792-795.
4. Choudhary R. Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey / R. Choudhary, R. Gupta // International journal of advanced research in computer science and software engineering. – 2017. – Vol. 7, № 4. – P. 106-112.
5. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
6. Характеристика спектральных зон IKONOS и их радиометрическая коррекция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=389> – 02.10.2017.
7. Свойства данных дистанционного зондирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://loi.sscc.ru/gis/dataplus/arcrev/Number_17/3_Svoistva.htm – 30.05.2017.
8. Характеристики снимков. Радиометрическое разрешение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://innoter.com/content/radiometricheskoe-razreshenie-snimkov> – 28.04.2017.
9. Гриб Д.А. Проблемні питання використання даних БПЛА при веденні розвідки / Д.А. Гриб, Д.В. Карлов, С.І. Березіна, А.М. Остапова // Новітні технології – для захисту повітряного простору: зб. тез доповідей Тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12–13 квітня 2017 р. – Харків, 2017. – С. 383.
10. Lillo-Saavedra M. Multispectral images fusion by a joint multidirectional and multiresolution representation / M. Lillo-Saavedra, C. Gonzalo // Int. J. Remote Sens. – 2007. – Vol. 28. – P. 4065-4079.
11. Price J.C. Combining multispectral data of different spatial resolution / J.C. Price // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999. – Vol. 37, No. 3. – P. 1199-1203.
12. Clinton N. An accuracy assessment measure for object based image segmentation / N. Clinton, A. Holt, L. Yan, P. Gong // Proceedings of ISPRS: XXIst ISPRS Congress: Technical Commission IV. – 2008. – Vol. XXXVII, Part 4. – P. 1189-1194.
13. Бинаризация изображений: алгоритм Брэдли [Электронный ресурс] / Хабрахабр. – Режим доступа: URL: <https://habrahabr.ru/post/278435> – 13.06.2017.
14. Ning J. Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging / J. Ning, L. Zhang, D. Zhang, C. Wu // Pattern Recognition. – 2010. – Vol. 43, Iss. 2. – P. 445-456.

15. Білинський Й.Й. Метод виділення контуру на слабоконтрастних розмитих зображеннях / Й.Й. Білинський, П.М. Ратушний // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 3. – С. 164-169.
16. Скобцов Ю.А. Сегментация изображений методом муравьиных колоний / Ю.А. Скобцов, С.А. Эль-Хатиб, А.И. Эль-Хатиб // Вестник Херсонского Национального Технического Университета. – 2013. – № 1(46). – С. 204-211.
17. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

References

1. Samoilenko, O.V., Ponomarenko, S.O. and Ladyk, M.O. (2016), "Perspektivu rozvitku nazemnykh kompleksiv priymannia ta cifrovoi obrobki materialiv povitryanoi rozvidki Zbroynikh Syl Ukrainy" [Prospects for the development of terrestrial systems for the reception and digital processing of aerial intelligence materials of the Armed Forces of Ukraine], *Collection of scientific works of the State Scientific Research Institute of Aviation*, Vol. 12(19), pp. 115-120.
2. Guk, A.P. (2015), "Avtomatizaciya deshifirovaniya snimkov. Teoreticheskie aspekty statisticheskogo raspoznavaniya obrazov" [Automate decryption of pictures. Theoretical aspects of statistical recognition of images], *News of higher educational institutions*, No. 65, pp. 166-169.
3. Faroogue, M.Y. and Raen, M.S. (2014), Latest trends on image segmentation schemes, *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, Vol. 4, No. 10, pp. 792-795.
4. Choudhary, R. and Gupta, R. (2017), Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey, *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 106-112.
5. Chandra, A.M. and Hosh, S.K. (2008), "Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy" [Remote sensing and geographic information systems], Technosphere, Moscow, 312 p.
6. "Kharakteristika spektralnykh zon IKONOS i ih radiometricheskaya korrekcia" [Characterization of IKONOS spectral zones and their radiometric correction], www.racurs.ru/?page=389 (accessed 02 October 2017).
7. "Svoistva danykh distancionnogo zondirovaniya" [Remote Sensing Data Properties], www.loi.ssc.ru/gis/dataplus/arcrev/Number_17/3_Svoistva.htm (accessed 30 May 2017).
8. "Harakteristiki snimkov. Radiometricheskoe razreshenie" [Characteristics of pictures. Radiometric resolution], <https://innoter.com/content/radiometricheskoe-razreshenie-snimkov> (accessed 28 April 2017).
9. Hryb, D.A., Karlov, D.V., Berezina, S.I. and Ostapova, A.M. (2017), "Problemni pytannya vykorystannya danykh BPLA pry vedenni rozvidky" [Problematic Issues of Use of UAV Data in the Intelligence], *13th Scientific Conference of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University: New technologies – for air space protection*, April 13-14, Kharkiv, pp. 383.
10. Lillo-Saavedra, M. and Gonzalo, C. (2007), Multispectral images fusion by a joint multidirectional and multiresolution representation, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 28, pp. 4065-4079.
11. Price, J. C. (1999), Combining multispectral data of different spatial resolution, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, No. 3, pp. 1199-1203.
12. Clinton, N., Holt, A., Yan, L. and Gong, P. (2008), An accuracy assessment measure for object based image segmentation, *Proceedings of ISPRS: XXIst ISPRS Congress: Technical Commission IV*, Vol. XXXVII, Part 4, pp. 1189-1194.
13. "Binarizacia izobrazenia. Algoritm Bredly" [Binary image: Bradley's algorithm], <https://habrahabr.ru/post/278435> (accessed 13 June 2017).
14. Ning, J., Zhang, L., Zhang, D. and Wu, C. (2010), Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging, *Pattern Recognition*. Vol. 43, Iss. 2, pp. 445-456.
15. Bilynskiy, Y.Y. and Ratushnyi, P.M. (2012), "Metod vydilennia konturu na slabokontrastnykh rozmytykh zobragennyah" [Method of selecting the contour on weakly transmitted blurry images], *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, No. 3, pp. 164-169.
16. Skobzov, Yu.A., El-Khatyb, S.A. and El-Khatyb, A.Y. (2013), "Segmentaziya izobrazheniy metodom muraviynykh koloniy" [Segmentation of images by the method of ant colonies], *Bulletin of the Kherson National Technical University*, No. 1(46), pp. 204-211.
17. Kniznikov, Yu.F., Kravtsova, V.Y. and Tutubalina, O.V. (2004), "Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy" [Aerospace methods of geographic research], Publishing Center "Academy, Moscow, 336 p.

Надійшла до редколегії 18.07.2018

Схвалена до друку 21.08.2018

Відомості про авторів:

Березіна Світлана Іванівна

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3081-3331>

Information about the authors:

Svitlana Berezina

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3081-3331>

Клімишен Олексій Олегович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>

Oleksiy Klimishen

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3859-1531>

Карлов Дмитро Володимирович

доктор технічних наук старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3786-2160>

Dmitrij Karlov

Doctor of Technical Sciences Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Forces University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3786-2160>

Дичко Олександр Олександрович

доцент
доцент Військового інституту танкових військ
Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3532-6700>

Oleksandr Dychko

Associate professor
Senior Lecturer of Military Institute
of Armored Forces of National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3532-6700>

МЕТОДИКА ТОНОВОЙ И ЦВЕТОВОЙ КОРРЕКЦИИ РАЗНОРОДНЫХ И РАЗНОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

С.И. Березина, А.О. Климишен, Д.В. Карлов, А.А. Дичко

В статье представлены результаты исследования процесса обработки синтезированных изображений, которые, в свою очередь, являются результатом комплексирования данных различных систем аэрокосмического наблюдения определенного района земной поверхности в разное время. Обработка данных такого типа обусловлена необходимостью отслеживания динамики изменений в конкретном районе. Представлены факторы, которые оказывают влияние на контрастность и тоновую насыщенность снимка. Обосновывается подход к коррекции тоновой насыщенности разнородных и разновременных снимков отдельного района наблюдения. Продемонстрированы трудности, которые возникают при обработке синтезированных изображений. Было установлено, что при исследовании закономерностей изменения цветочных характеристик разнотонных изображений наиболее подходящей является модель HSV.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, синтезированные изображения, аэрокосмические снимки, тоновая насыщенность, яркость, оптические характеристики объектов съемки, характеристики съемочной аппаратуры.

METHOD TONE AND COLOR CORRECTION FOR DIVERSE AND MULTI-TEMPORAL DATA OF OPTICAL-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEMS

S. Berezina, O. Klimishen, D. Karlov, O. Dychko

Only the integration of images taken from different media can satisfy all the requirements for input data when decoding. However, when creating a synthesized image, there are a number of negative effects that need to be further processed by the image to eliminate them. In addition, to automatically detect weak contrast and masked objects and determine the dynamics of the scene, which uses colored characters, it is necessary to produce multiple images to the same tone saturation. There is a need to determine the factors that affect the tone and the color saturation of the image. Thus, the purpose of the paper is to create a method of tone and color correction of images to automate the process of processing them. The article analyzes the main factors influencing the color characteristics of the received images, among which the indicatrix of reflection, the conditions of illumination, spectral and radiometric sensitivity of the shooting apparatus are considered. It was found that the tonal saturation of objects in the picture depends not only on the season, but also on the relative location of the sun and shooting equipment, the shooting facilities and their humidity. Based on the research conducted, it can be concluded that tone correction is possible only for objects with the same optical characteristics. That is, first of all, it is necessary to stage the construction of a segment card, and the definition of identical zones. And then it is possible to enter corrective values using the color space of the HSV. Moving from the color space RGB to the color space HSV will eliminate the distortion of color transfer. Correction by the value of H compensates for the discrepancy between the spectral and radiometric characteristics of the shooting apparatus, and the correction for the value V is the illumination condition. Thus, the use of the results of the research will avoid the effect of mosaic on the synthesized image or automate the process of determining changes in the observation area using the color parameter vector. In addition, the introduction of the proposed method will reduce the time for decoding aerospace images.

Keywords: optoelectronic systems, synthesized images, aerospace images, tonal saturation, brightness, optical characteristics of the objects survey, characteristics of the filming equipment.