

*I. M. Журавель, Л. З. Мичуда**Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ТА ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ ГРАФІЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ КОЛІРНОГО ПРОСТОРУ

Постійний розвиток цифрової техніки призвів до різкого збільшення кількості та об'ємів медіафайлів, зокрема, цифрових зображень, які становлять значну частину трафіка комп'ютерних мереж, що призводить до зменшення швидкості їх передачі. Дослідження, проведені у роботі, ґрунтуються на положеннях та методах опрацювання цифрових зображень, законах зорового сприйняття, основах теорії ймовірності та математичного моделювання. Результати теоретичних досліджень перевірялися шляхом імітаційного моделювання. У роботі запропоновано технологію, яка через аналіз колірного простору зображення та врахування законів зорового сприйняття, дає можливість істотно зменшити об'єм графічного файлу. Ця технологія використовується для розв'язання цілого ряду задач, зокрема, візуалізації файлів великого об'єму та підвищення інформативності зображень зі складним семантичним наповненням. Встановлено, що зменшення об'єму графічного файлу досягається через оптимізацію палітри та призводить до незначного погіршення візуальної якості сприйняття зображення. Для зменшення помітності похибки та формування візуального відчуття присутності на зображенні більшої кількості різноманітних кольорів, ніж є насправді, запропоновано використовувати дифузійне псевдозмішування кольорів, яке полягає у моделюванні одних кольорів за допомогою інших. Разом з задачею зменшення об'єму графічних файлів на основі оптимізації палітри досліджено подібну за методологією задачу підвищення інформативності зображень через використання псевдокольників. За допомогою модифікації функції перетворення координат колірного простору в колірні компоненти, запропоновано модифікований підхід до формування псевдокольорових зображень, який забезпечує підвищення інформативності напівтонових цифрових зображень при їх візуальному аналізі.

Ключові слова: цифрове зображення; колірний простір; псевдокольори; дифузійне змішування кольорів.

Вступ/Introduction

Одним з важливих чинників, які істотно впливають на швидкість оброблення та передачі інформації, є її об'єм. Проведемо дослідження способів візуалізації цифрових зображень, які є одним з найбільш зручних способів представлення інформації при неруйнівному контролі, медичній діагностиці та дистанційному зондуванні Землі [12]. Графічні файли таких зображень, в більшості випадків, потребують значних об'ємів пам'яті, що зумовлює певні незручності при обробці та передачі інформації. Тому актуальною є задача зменшення об'єму графічних файлів зображень при мінімальній погіршенні їх візуальної якості. Вирішення цього питання є також важливим у задачах сегментації кольорових зображень.

Об'єкт дослідження – процеси оптимізації палітри у цифрових зображеннях.

Предмет дослідження – методи, моделі, алгоритми дифузійного псевдозмішування кольорів та підвищення інформативності цифрових зображень.

Мета роботи – розробити методи, які через аналіз колірних просторів зображень, оптимізацію їх палітри і застосування псевдокольників, дадуть можливість зменшити об'єм та підвищити інформативність графічних файлів.

Як було зазначено вище у роботі опрацювання графічних файлів великих розмірів та їх передача каналами зв'язку вимагає більше часу, ніж проведення аналогічних операцій з меншими за об'ємом файлами. Тому суть оптимізації палітри полягатиме у зменшенні об'єму графічних файлів без істотного зниження їх візу-

альної якості. Також у роботі буде досліджена задача підвищення інформативності напівтонових зображень мікроструктур через використання псевдокольників.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- оптимізувати палітру з використанням дифузійного псевдозмішування кольорів, що уможливіть зменшення об'єму графічних файлів без істотного зниження їх візуальної якості;
- підвищити інформативність напівтонових зображень мікроструктур через використання псевдокольників;
- розробити методи зменшення об'єму цифрових зображень та підвищення їх інформативності.

Матеріали та методи дослідження. Основні методи досліджень, які застосовуються у роботі, – оброблення, аналіз цифрових зображень, дифузійне псевдозмішування кольорів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розвиток цифрової техніки призвів до істотного зростання кількості медіафайлів, зокрема, цифрових зображень. Графічні файли, сформовані сучасними пристроями мають високу роздільну здатність і, як наслідок, їх розміри сягають кількох мегабайтів, що потребує більшого часу для передачі їх по комп'ютерних мережах. Тому на сьогодні є велика кількість наукових праць, які націлені на розв'язування задач зменшення об'єму графічних даних. Переважна більшість робіт присвячена вдосконаленню відомих методик, які базуються на кодуванні довжин серій відлікових значень, ентропії та словнику зі загальним числовим прикладом для наочного порівняння [17]. Відомі праці щодо стиску зображень, які

грунтуються на залишковій надлишковості [3]. Оскільки багато відомих підходів досягнули свого насичення і їх вдосконалення не дає потрібної результативності, то останніми роками для стиску даних використовують поєднання кількох методів – це так звані гібридні методи з оцінкою їх продуктивності [13]. У роботі [4] запропоновано нову систему стиснення зображень із змінною швидкістю та з умовним автокодером, яка базується на нейронних мережах. Відома також система стиснення зображень без втрат, яка за словами розробників перевершує популярні розроблені кодеки PNG, WebP і JPEG 2000. В основі цього методу лежить повністю розпаралелена ієрархічна імовірнісна модель для адаптивного ентропійного кодування, яка оптимізована для завдання стиснення [14]. Водночас недостатньо уваги у наукових дослідженнях цього напрямку приділено методам, які враховують колірний простір та закони зорового сприйняття людини.

Розглянемо метод візуалізації графічних файлів великого об'єму. Усі зображення можна умовно розділити на чотири типи – бінарні, напівтонові, палітрові та повноколірні. Бінарні та напівтонові зображення представляють собою двохвимірні масиви чисел, які є еквівалентами інтенсивностей. Повноколірні зображення зберігаються у вигляді тривимірних масивів. Для доступу до значень інтенсивностей складових кольору пікселя зображення потрібно вказати рядок – k , стрічку l та номер складової: 1 – для R, 2 – для G та 3 – для B. Палітрові зображення зберігаються у вигляді двохвимірних масивів індексів. Для кожного палітрового зображення існує двовимірний масив палітри, в трьох стовбцях якого розміщені значення інтенсивностей R, G, B.

Кожний графічний файл складається із двох основних частин – заголовка та власне даних. Заголовок містить інформацію про структуру графічного файлу. Здебільшого після заголовку у файлі палітрового зображення міститься палітра кольорів. В даній роботі розглянуто палітрові повноколірні зображення з метою зменшення кількості кольорів при мінімізації втрати їх візуальної якості.

З аналізу структури графічного файлу випливає, що одним із шляхів зменшення його об'єму, є оптимізація палітри зображень [2].

Для більшості зображень, кількість кольорів, яка необхідна для їх відтворення, менша за 256. Забираючи невикористані кольори із палітри сприяємо зменшенню об'єму файлу зображення. Розглянемо це на прикладі зображень, які містять велику кількість кольорів та відтінків.

Запропоновано метод, який базується на тому, що палітра зображення вибирається фіксованою або оптимізується. У випадку фіксованої палітри кожному елементу зображення вибирається у відповідність найбільшій за значенням колір. Основною вимогою до такої палітри є те, що вона повинна містити основні кольори, які присутні на зображенні. Виконання цієї вимоги буде значною мірою впливати на якість відтворення зображення. В більшості випадків використовують так звану "безпечну палітру", яка містить набір часто використовуваних кольорів та їх відтінків. Оскільки розмір палітри є фіксований, а колірне наповнення зображень є найрізноманітнішим, то не завжди вдається провести перетворення палітри зображення із допустимою

мінімальною візуальною похибкою. Тому доцільно оптимізувати палітру.

У випадку оптимізованої палітри, формується список усіх кольорів, які містяться на зображенні. Далі на підставі аналізу частоти появи цих кольорів будується палітра.

Розглянемо процес аналізу та вибору кольорів оптимізованої палітри детальніше.

Оптимізація палітри зображення. Одним з найбільш зручних видів представлення яскравісних характеристик зображення є його гістограма. У випадку кольорових (RGB) зображень гістограма видається у вигляді куба (рис. 1), всередині якого розміщена інформація про частоту появи кольорів на зображенні.

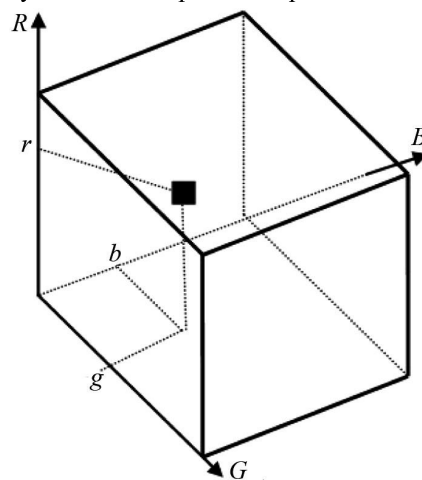


Рис. 1. Структура тривимірної гістограми зображення / The structure of the three-dimensional histogram of the image

Побудова тривимірної гістограми зображення є важливим елементом під час формування оптимальної палітри. Далі на підставі аналізу будують нову палітру зображення. Розглянемо ряд методів визначення нової палітри зображення. Один із підходів базується на тому, що формується нова палітра розмірності $n \times 3$, яка складається з найбільш вживаних на зображенні кольорів. Такий алгоритм ефективний для побудови нової палітри зображень, які не містять відтінків основних кольорів. Проте більшість зображень містить велику кількість відтінків.

Використання даного методу призводить до того, що палітра перетвореного зображення складатиметься здебільшого з відтінків одного кольору, який найчастіше трапляється на вхідному зображенні. Внаслідок такого перетворення, візуальна різниця вхідного та перетвореного зображень є істотною, що зумовлює його низьку якість.

Наступним підходом до створення нової палітри, використання якої призвело б до зменшення об'єму графічного файлу зображення, є формування "умовно фіксованої палітри". Суть цього підходу полягає у тому, що нова палітра потрібного (довільного) розміру формується на основі використання білого, чорного, RGB-кольорів та їх відтінків. Цей метод доцільно застосовувати щодо перетворення палітри зображень, які містять всі сім основних кольорів. Недоліком цього методу є те, що у ньому не проводиться аналіз кольорів зображення. Це призводить до того, що побудована палітра в більшості випадків не є оптимальною з точки зору візуального сприйняття. Під оптимізацією будемо розуміти

зменшення кількості кольорів палітри зображення за умови мінімізації відхилення рівнів інтенсивностей пікселів первинного та перетвореного зображень [19].

Як було зазначено вище, більшість зображень містить невелику кількість чистих кольорів та велику кількість їх відтінків. Внаслідок цього елементи тривимірної гистограми розподілені нерівномірно, а певними скупченнями (кластерами). Ця властивість лягла в основу запропонованого методу [12]. У цьому методі для аналізу гистограми зображення використовують один з методів кластеризації. Він полягає у тому, що всі елементи тривимірної гистограми розбиваються на k -кластерів. Отже, що мінімізується евклідова відстань між об'єктами всередині кластерів та максимізується евклідова відстань між ними. Вибираючи координати центра мас заданої кількості k найбільших кластерів, проводиться побудова оптимальної палітри із заданою розмірністю k . Вибір методу k -середніх обумовлений тим, що він, на відміну від інших методів сегментації, через мінімізацію суми квадратів різниць інтенсивностей відповідних пікселів порожнього та заповненого стегано-контейнерів, забезпечує мінімальну похибку при оптимізації колірної палітри [19].

Зменшення об'єму графічного файлу досягається через оптимізацію палітри та призводить до незначного погіршення візуальної якості сприйняття зображення. Для зменшення помітності похибки та створення враження, що на зображенні присутня більша кількість різноманітних кольорів, ніж є насправді, використовується дифузійне псевдозмішування кольорів.

Дифузійне псевдозмішування кольорів. Потрібний ефект зменшення помітності похибки досягається через групування в певній локальній області зображення елементів з кольорами, які представлені в палітрі, змішування яких дає близький до необхідного колір. Для

цього використовується відомий алгоритм Флойда-Стейнберга [2]. В цьому алгоритмі елемент зображення замінює свій колір на найближчий в евклідовій метриці, який є у палітрі. Також обчислюється похибка колірності $Error_RGB$ для кожної складової як різниця між значеннями величин складових кольорів палітри $MAP_new(k,:)$ та вхідного зображення $L(i,j,:)$. У випадку RGB -складових, алгоритм видається в такий спосіб:

$$Error_RGB(i,j,:) = L(i,j,:) - MAP_new(k,:). \quad (1)$$

Далі похибка розповсюджується на сусідні елементи зображення шляхом додавання деякої частини похибки до значень відповідних складових і відбувається так звана "дифузія похибки".

$$L(i,j+1,:) = L(i,j+1,:) + \frac{3 \cdot Error_RGB(i,j,:)}{8}, \quad (2)$$

$$L(i+1,j,:) = L(i+1,j,:) + \frac{3 \cdot Error_RGB(i,j,:)}{8}, \quad (3)$$

$$L(i+1,j+1,:) = L(i+1,j+1,:) + \frac{Error_RGB(i,j,:)}{4}. \quad (4)$$

Використання псевдозмішування кольорів дає змогу покращити колірне сприйняття при умові погіршення глибини кольору та підвищення рівня високочастотного шуму.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Проаналізуємо комп'ютерне моделювання методу візуалізації зображення з оптимізованою палітрою. Області застосування методу різноманітні. Важливе місце серед них займає передача потоків фото- чи відеоданих каналами зв'язку, де об'єми графічних файлів повинні бути невеликі. Приклад ефективності запропонованого методу ілюструє рис. 2.

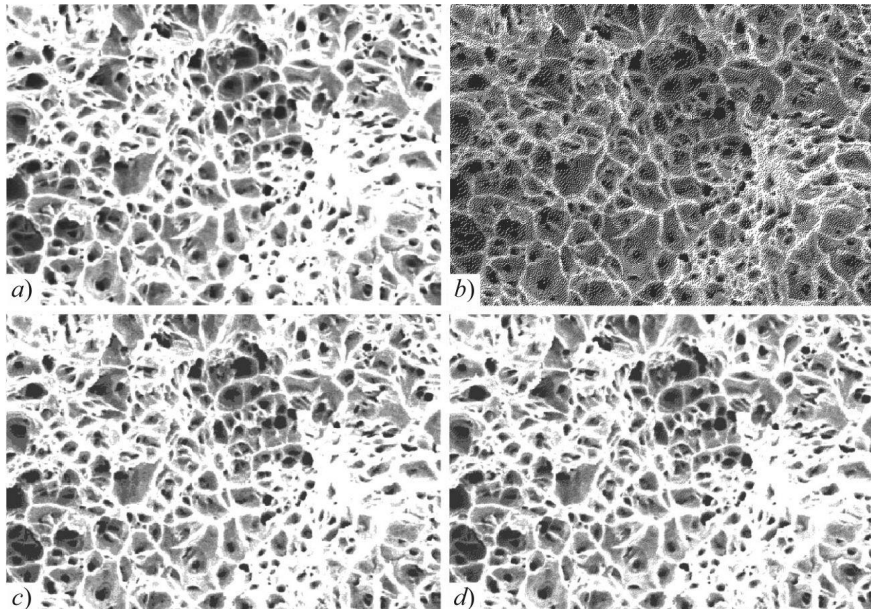


Рис. 2. Результат комп'ютерного моделювання оптичного зображення мікроструктури металу з оптимізованою палітрою: а) вхідне зображення (розмір графічного файлу зображення 1317624 байт); б) зображення а), оброблене методом бінаризації з використанням алгоритму Флойда-Стейнберга (164703 байт); в) зображення а), палітра якого зменшена до 8 кольорів (494109 байт); г) зображення а), палітра якого зменшена до 8 кольорів та використано алгоритм Флойда-Стейнберга (494109 байт) / The result of computer modeling of the optical image of the metal microstructure with an optimized palette: a) input image (image image file size 1317624 bytes); b) image a), processed by binarization using the Floyd-Steinberg algorithm (164703 bytes); c) image a), the palette of which is reduced to 8 colors (494109 bytes); d) image a), the palette of which is reduced to 8 colors and uses the Floyd-Steinberg algorithm (494109 bytes)

На рис. 2,а показано вхідне зображення з розмірами файлу у 1,3 Мб. На рис. 2,б наведено застосування класичної технології дифузійного псевдозмішування кольорів через бінаризацію і застосування алгоритму Флойда-Стейнберга [2], [5], [7]. На рис. 2, с показано вхідне зображення зі зменшеною до восьми кольорів палітрою. Результуюче зображення на рис. 2, d отримане із вхідного шляхом оптимізації палітри та застосуванням алгоритму псевдозмішування кольорів Флойда-Стейнберга. За візуальною якістю воно практично не поступається вхідному зображенню, а об'єм його графічного файлу становить тільки 483 кб, що майже у 2,7 рази менше, ніж у вхідного зображення. Вибором розміру оптимальної палітри шукається компроміс між об'ємом файлу та якістю перетвореного зображення. При кількості кольорів оптимальної палітри більше ніж 16, втрати якості стають візуально непомітними, а виграш у об'ємі залишиться ще значним. Наведені вище обчислення об'ємів зображень проводилися при відсутності стиску даних. Також варто зазначити, що об'єм файлу зображення згідно із запропонованим методом залежить тільки від кількості кольорів палітри та не залежить від семантичного наповнення, а отже, і від класу зображень.

Ще одне питання, яке розглядається в рамках цього дослідження, присвячене підвищенню інформативності напівтонових зображень мікроструктур через використання псевдокольорів.

До цього моменту у роботі розглядалися автоматизовані та автоматичні підходи до оброблення та аналізу зображень комп'ютерної металографії. Але у багатьох випадках, особливо в системах з автоматизованою обробкою, первинний аналіз зображень або аналіз результатів опрацювання здійснює людина-гоператор. Доволі часто у різноманітних прикладних галузях, наприклад, у комп'ютерній металографії, особливістю зображень є те, що вони напівтонові, здебільшого мають складну структуру, наявність великої кількості дрібних деталей, відсутність чітких меж, погану видимість об'єкту на фоні тощо. За цих обставин аналіз людиною-гоператором таких зображень є утруднений. Відомо, що з психофізичної точки зору точки зору кольорове зображення деякого об'єкту сприймається краще, ніж його напівтонове представлення. З метою підвищення інформативності зображення та покращання аналізу людиною-гоператором у деяких випадках напівтонові зображення комп'ютерної металографії доцільно представляти за допомогою псевдокольорів [10].

Представлення зображень у вигляді псевдокольорів надає нові можливості щодо структурного аналізу матеріалів. З'являється можливість ідентифікації структурних складових на рівні відтінків кольору. Подібні підходи реалізовані в багатьох системах аналізу зображень неруйнівного контролю [8], [11], [15].

Постановка задачі в такому плані схожа до сегментації зображень з використанням псевдокольорів [9].

Незважаючи на велику кількість методів, алгоритмів та програмних реалізацій, не існує універсальних методів сегментації об'єктів. Серед найбільш вживаних можна виділити методи сегментації на основі шаблонів, за рівнем інтенсивності, нарощування області тощо. Ефективними є методи, які базуються на поєднанні декількох підходів та використанні глобальної і локальної інформації про об'єкти на зображенні [9].

Ще одним важливим аспектом при кольоровій чи псевдокольоровій сегментації є обґрунтований вибір колірної системи [19]. Найбільш поширеною при проведенні експериментів є кольометрична система RGB. Колірну модель RGB зручно представляти на хроматичній діаграмі з довжинами хвиль кольорів (рис. 3).

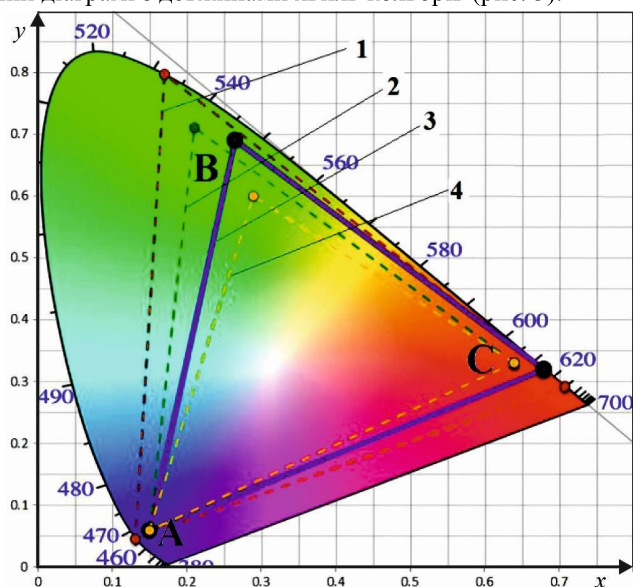


Рис. 3. Колірний простір / Color space

Пристрої візуального відображення такі як дисплеї, монітори, принтери, телевізори мають свій колірний діапазон – профіль, що описує кольори, які здатний відобразити даний пристрій. Для прикладу, на рис. 3 представлені колірні профілі моніторів: 1 – Samsung SyncMaster XL20, 2 – абстрактний sRGB, 3 – Samsung SyncMaster 913N, 4 – ноутбук Asus M50S. Колірний профіль sRGB під номером 3 відображає абстрактний колірний діапазон, який був розроблений HP та Microsoft для використання з моніторами та принтерами середньостатистичних користувачів [18]. Цей колірний трикутник будемо використовувати при наших подальших розрахунках.

У тривимірному просторі будь-який колір може бути відображений трьома координатами (x, y, z) , які представляють собою нормовані величини і для яких виконується умова

$$x + y + z = 1. \quad (5)$$

Враховуючи співвідношення (5), будь-який колір у колірній системі sRGB можна представити двома координатами x та y . Розглянемо трикутник ABC на рис. 3. Координати його вершин представляються наборами – $A(0,14; 0,06)$, $B(0,21; 0,715)$ та $C(0,63; 0,33)$. Використовуючи рівняння прямої, яка проходить через дві точки, прямі, які проходять через відрізки AB , BC та AC , можна представити рівняннями

$$y_1 = 10,13x - 1,36, \quad (6)$$

$$y_2 = -0,92x + 0,91, \quad (7)$$

$$y_3 = 0,55x - 0,017. \quad (8)$$

Вирази (6)–(8) математично описують сторони трикутника ABC , який визначає колірний профіль деякого пристрою відображення. Інтенсивність пікселів напівтонового зображення $L(i, j)$ може змінюватися в межах від 0 до 255. Діапазон зміни кольору по координаті x змінюється, у нашому випадку, від $x_{\min} = 0,14$ до

$x_{\max} = 0,63$. Пронормуємо значення $L(i, j)$ до діапазону величини x за допомогою виразу

$$x = L(i, j) \cdot \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{R} + x_{\min}, \quad (9)$$

де R – діапазон інтенсивностей. Для восьмибітних зображень $R = 256$, тому

$$x = 0,002 \cdot L(i, j) + 0,14. \quad (10)$$

Використовуючи вирази (6.6)–(6.8) обчислимо діапазон зміни кольору по величині y

$$y = \begin{cases} y_3 \leq y \leq y_1, & \text{при } x < 0,21; \\ y_3 \leq y \leq y_2, & \text{при } x \geq 0,21. \end{cases} \quad (11)$$

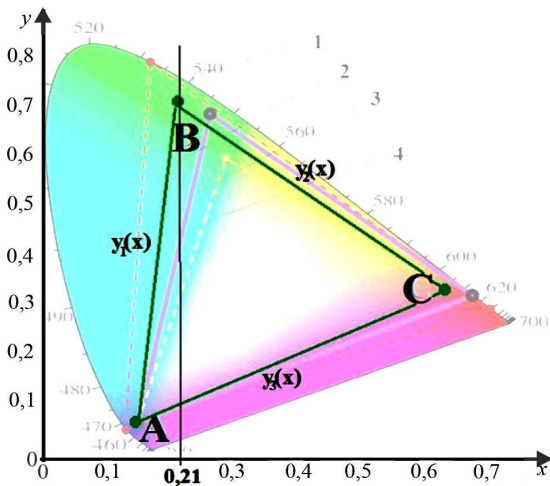


Рис. 4. Математичне обмеження колірної простору RGB функціями y_1, y_2 та y_3 / Mathematical constraint of color space by RGB functions y_1, y_2 and y_3

З виразу (11) та рис. 4 видно, що оскільки колірний профіль пристрою відображення є трикутником ABC , то обчислення будуть проводитися за двома різними виразами у діапазонах значень $x < 0,21$ та $x \geq 0,21$. В першому випадку (при $x < 0,21$) вираз має забезпечувати зна-

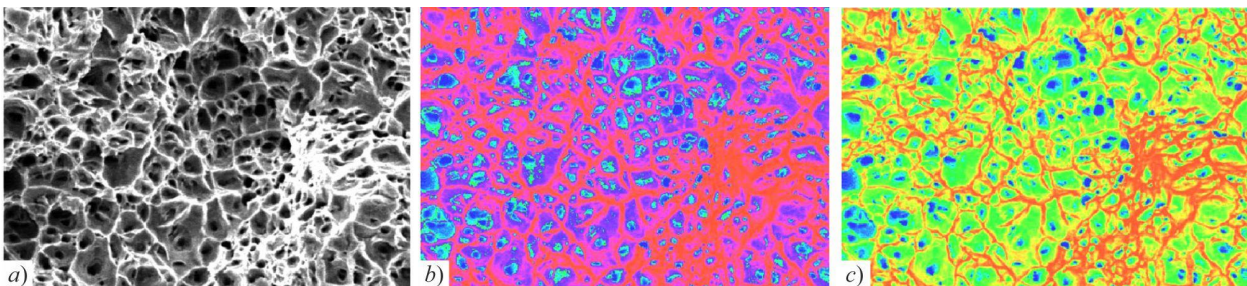


Рис. 5. Представлення деякого металографічного зображення а за допомогою псевдокольорів b та c / Representation of some metallographic image a with the help of pseudo-colors b and c

Обговорення результатів дослідження. На основі оптимізації колірної палітри та застосування псевдокольорів розроблено методи опрацювання цифрових зображень, які зменшують об'єм графічних даних і підвищують їх інформативність. Як було зазначено вище, об'єми інформації, що циркулюють в комп'ютерних мережах, постійно зростають. Значний відсоток цієї інформації становлять мультимедійні файли, зокрема, зображення. Розроблений метод має прикладне застосування, оскільки дає можливість зменшити об'єм цифрового зображення без істотного зниження його візуальної якості, що позитивно впливає на швидкість їх передачі каналами зв'язку та займає менший об'єм при зберіганні тощо [3], [4], [13], [14], [17]. На цій же техноло-

гії опрацювання цифрових зображень та аналізі їх колірної простору побудовано метод представлення напівтонових зображень за допомогою псевдокольорів. Запропонований підхід покращує візуальний аналіз складноструктурованих зображень, підвищуючи розрізненість дрібних деталей [6], [16].

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Координату $L_1(i, j)$ обчислюємо з виразу (5), отримуємо такий вираз

$$z = 1 - x - y. \quad (12)$$

Використовуючи вирази, які пов'язують колірні компоненти RGB та зміни кольору за координатами x, y та z , обчислимо

$$\begin{aligned} R &= 1,76x - 0,48y - 0,25z; \\ G &= -0,54x + 1,5y + 0,02z; \\ B &= 0,006x - 0,018y + 1,23z. \end{aligned} \quad (13)$$

Набір (R, G, B) є значенням колірних компонент пікселя псевдо кольорового зображення з відповідними координатами (i, j) . У даній моделі колір кодується градаціями складових каналів (Red, Green, Blue). Тому за збільшення величини градації котрогось каналу – зростає його інтенсивність під час синтезу.

Комп'ютерне моделювання методу підвищення інформативності з використанням псевдокольорів. Результати комп'ютерного моделювання описаного вище підходу (5)–(13) представлені на рис. 5.

Описаний метод представляє собою модифікацію відомого підходу до формування псевдокольорових зображень [10]. Модифікація полягає у тому, що метод пропонує дослідникам не один вираз обчислення координати зміни кольору y , а тільки задає можливі межі її значень (6). Це надає можливість користувачу моделювати псевдокольорові зображення з використанням різних палітр кольорів (рис. 5, b та c.) та загалом призводить до підвищення інформативності таких зображень при візуальному аналізі. Даний метод ефективно працює із зображеннями, які містять низький рівень шумів, в іншому випадку їх необхідно попередньо обробляти з метою зменшення шумової складової [1], [20].

Практична значущість результатів дослідження – оптимізація колірної палітри зображення та застосування псевдоколірів надасть змогу зменшити об'єм графічного файлу без істотного зниження рівня візуальної якості, що позитивно впливатиме на швидкість передачі таких даних каналами зв'язку.

Висновки / Conclusions

На основі технології дифузійного псевдозмішування кольорів і застосування алгоритму Флойда-Стейнберга запропоновано алгоритм оптимізації палітри, який дає можливість істотно зменшити об'єм файлу цифрових зображень. Запропонований у роботі метод оптимізації палітри на основі кластерного аналізу гістограми зображення та використання дифузійного псевдозмішування кольорів дає змогу представляти будь-яке кольорове чи напівтонове зображення заданою кількістю кольорів з мінімальною візуальною похибкою відносно первинного зображення. Похибка перетворення зображення обернено пропорційна кількості елементів оптимальної палітри.

Через модифікацію функції перетворення координат колірному простору в колірні компоненти, запропоновано модифікований підхід до формування псевдоколірових зображень, який забезпечує підвищення інформативності напівтонових цифрових зображень при їх візуальному аналізі.

References

- [1] Ajay, Kumar, Boyat, Brijendra, & Kumar, Joshi (2015). A Review Paper: Noise Models In Digital Image Processing. *SI-PIJ*, 6(2), 63–75. <https://doi.org/10.5121/sipij.2015.6206>
- [2] Andrews, H. C., Tescher, A. G., & Kruger, R. P. (1972). Image processing by digital computers. *IEEE Spectrum*, 9(7), 20–32. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.1972.5218964>
- [3] Cheng, Z., Sun, H., Takeuchi, M., & Katto, J. (2020). Learned Image Compression With Discretized Gaussian Mixture Likelihoods and Attention Modules. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 7939–7948. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00796>
- [4] Choi, Y., El-Khamy, M., & Lee, J. (2019). Variable Rate Deep Image Compression With a Conditional Autoencoder. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 3146–3154. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00324>
- [5] Cosman, P. C., Gray, R. M., & Olshe, R. A. (1994). Evaluating Quality of Compressed Medical Images. Proceedings of the IEEE "SNR, Subjective Rating, and Diagnostic Accuracy", 82(6), 919–932. <https://doi.org/10.1109/5.286196>
- [6] Franchini, Giorgia, Cavicchioli, Roberto, & Cheng Hu, Jia. (2019). Stochastic Floyd-Steinberg dithering on GPU: image quality and processing time improved, Fifth International Conference on Image Information Processing (ICIIP), November 2019. <https://doi.org/10.1109/ICIIP47207.2019.8985831>
- [7] Gonzalez, R. C., & Wintz, P. (1987). Digital Image Processing. Addison – Wesley. Reading. Massachusetts. 505 p.
- [8] Gordon, R., & Rangayyan, R. M. (1984). Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptive neighborhood. *Applied optics*, 23, 560–564. <https://doi.org/10.1364/AO.23.000560>
- [9] Hosaka, K. (1986). A new picture quality evaluation method. Proc. International Picture Coding Symposium, Toky, Japan, 316–321.
- [10] Hriaznov, A. Iu. (2016). Technique for obtaining pseudo-color x-ray images in dual-energy radiography. *Biotechnosphere*, 3(33), 17–20. [In Russian].
- [11] Internet Microscope Technolog (2018). iMicroTec, Inc. Retrieved from: <http://www.videotest.ru>
- [12] Karimov, A., Kopets, E., Kolev, G., Leonov, S., Scalera, L., & Butusov, D. (2021). Image Preprocessing for Artistic Robotic Painting. *Inventions*, 6(1), 19. <https://doi.org/10.3390/inventions6010019>
- [13] Kumar, P., & Parmar, A. (2020). Versatile Approaches for Medical Image Compression: A Review *Procedia Computer Science*, 167, 1380–1389. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.349>
- [14] Mentzer, F., Agustsson, E., Tschannen, M., Timofte, R., & Van Gool, L. (2019). Practical Full Resolution Learned Lossless Image Compression. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10629–10638. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.01088>
- [15] Metallographic Equipment and Consumables (2007). PACE Technologies. Retrieved from: <http://www.metallographic.com>
- [16] Qian, Lin. (1993). *Halftone image quality analysis based on a human vision model*, Proc. SPIE 1913, Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV, 8 September 1993. <https://doi.org/10.1117/12.152712>
- [17] Rahman, M. A., & Hamada, M. (2019). Lossless Image Compression Techniques: A State-of-the-Art Survey. *Symmetry*, 11(10), 1274. <https://doi.org/10.3390/sym11101274>
- [18] Stokes, Michael, Anderson, Matthew, Chandrasekar, Srinivasan, & Motta, Ricardo (November 5, 1996). A Standard Default Color Space for the Internet: sRGB, Version 1.10. ICC. Retrieved from: <https://www.color.org/sRGB.xalter>
- [19] Vorobel, R., Zhuravel, I., Opyr, N., & Popov, B. (1998). Image quality enhancement technique for X – ray testing. 2nd International Conference on Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics, Minsk, 20–23 October 1998. Proceedings, 449–455.
- [20] Zhuravel, I. M. (2019). Computer Analysis of the Distribution of Grain Sizes in the Structure of 12Kh1MF Steel After Operation. *Materials Science*, 55(4), 187–192. <https://doi.org/10.1007/s11003-019-00287-y>

I. M. Zhuravel, L. Z. Mychuda

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

VISUALIZATION AND INCREASING THE INFORMATIVENESS OF LARGE GRAPHIC FILES

The constant development of digital technology has led to a sharp increase in the number and volume of media files, including digital images, which make up a significant part of computer network traffic, which reduces the speed of their transmission. The research conducted in this work is based on the provisions and methods of digital image processing, the laws of visual perception, the basics of probability theory and mathematical modeling. The results of theoretical research were verified by simulation. The paper proposes a technology that, through the analysis of the color space of the image and taking into account the laws of visual perception, makes it possible to significantly reduce the size of the image file. This technology is used to solve a number of problems, in particular, the visualization of large files and increase the informativeness of images with complex semantic content. It is established that the reduction of the image file size is achieved through the optimization of the palette and leads to a

slight deterioration in the visual quality of image perception. To reduce the visibility of error and create a visual sense of the presence of more different colors in the image than is actually the case, it is proposed to use diffuse pseudo-mixing of colors, which is to model some colors with others. Along with the task of reducing the volume of graphic files based on the optimization of the palette, a similar methodology was developed to increase the informativeness of images through the use of pseudo-colors. By modifying the function of converting the coordinates of color space into color components, a modified approach to the formation of pseudo-color images is proposed, which increases the informativeness of halftone digital images in their visual analysis.

Keywords: digital image; color space; pseudo-colors; diffuse color mixing.

Інформація про авторів:

Журавель Ігор Михайлович, д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, професор, кафедра безпеки інформаційних технологій.

Email: izhuravel@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-1114-0124>

Мичуда Леся Зиновіївна, д-р техн. наук, доцент, професор, кафедра безпеки інформаційних технологій.

Email: lesyamychuda@yahoo.com. <https://orcid.org/0000-0001-8266-1782>

Цитування за ДСТУ: Журавель І. М., Мичуда Л. З. Методи підвищення інформативності та зменшення об'єму графічних даних на основі аналізу їх колірного простору. *Український журнал інформаційних технологій*. 2022, т. 4, № 1. С. 78–84.

Citation APA: Zhuravel, I. M., & Mychuda, L. Z. (2022). Visualization and increasing the informativeness of large graphic files. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 4(1), 78–84. <https://doi.org/10.23939/ujit2022.01.078>