

**КРИВЕНЧУК Юрій**

Національний університет "Львівська політехніка"

ORCID ID: [0000-0002-2504-5833](https://orcid.org/0000-0002-2504-5833)e-mail: [Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua](mailto:Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua)**ВАСИЛИК Ростислав**

Національний університет "Львівська політехніка"

e-mail: [rostyslav.vasylyk.mknssh.2021@lpnu.ua](mailto:rostyslav.vasylyk.mknssh.2021@lpnu.ua)

## РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ГРАФІЧНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛЬОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ

В роботі наведено результати розроблення інтерактивного графічного застосунку кольоризації зображення, мета якого покращення якості та збільшення функціоналу даного типу застосунків, їх поширення та впровадження у відповідні сфери в Україні. Виділено та описано такі основні етапи: перетворення текстових фраз у кольорові палітри, визначення ознак, кольоризація зображення за допомогою згенерованих палітр. Після проведення аналізу результатів було виявлено, що розроблення інтерактивного графічного застосунку кольоризації зображення є актуальним та доцільним завданням на сьогодні, а найбільш ефективним інструментом для цього є використання таких математичних методів, як K-means, методів глибокого навчання та згорткових нейронних мереж.

Ключові слова: кольоризація зображення, згорткові нейронні мережі, графічні редактори.

KRYVENCHUK Yurii, VASYLYK Rostyslav  
Lviv Polytechnic National University

## INTERACTIVE GRAPHIC APPLICATION FOR IMAGE COLORATION

Nowadays we have thousands of products related to image adjusting adding filters, blurring, removing noise, etc. Also, we have applications related to image coloration, however, their functionality is quite narrow. With the help of the interactive graphic application for image coloration, it would be easier to adjust, particularly recolor, fully recolor, and even color black and white images from scratch. The application considers users' choices by interactive instruments: texting the preferred color by some phrase "once in a blue moon", choosing colors with a color picker, choosing a palette, choosing a palette with random colors, and adjusting a palette. All these instruments are applied to both color and black & white images. An example of using this application is in urban planning or design, where it is quite taught work for architects to make up with the idea of a new color palette for the particular project. For such cases, we have provided functionality for fully coloring some raw project in form of black & white image. The paper has the description and the results of the creation of a graphic application, the basis of which are: windows graphical user interface, mathematical clustering method K-means, and a convolutional neural network. Using of clustering method K-means deserves a separate section, as there was used not the primary method, but modified - the applying of k-means to colors of an image, each iteration of the algorithm touches every pixel in the image, it is expensive for volumetric images, thus after analyzing different approaches, I decided to choose the so-called weighted K-means approach, in which each point C represents a certain number of pixels, the array of C point is called bins. In addition to the clustering method, the system uses the recurrent neural network to process text values or generate colors. As the result, user can connect to the system through a simple windows graphical interface that allows him to upload the image for further processing. The practical value of this work is the developed high-quality application which is ready for use and implementation in the relevant fields.

Keywords: image coloration, convolutional neural networks, graphical editors.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Існує доволі багато програм з різними способами кольоризації зображень, проте всі вони не універсальні, також, дані застосунки не передбачають кольоризації за допомогою текстових фраз, що значно спрощує використання програми.

Для вирішення описаної проблеми пропонується застосунок, який враховує вибір користувача за допомогою інтерактивних інструментів: текстове повідомлення бажаного кольору за допомогою інформативної фрази (напр. «жовтневий дощ»), вибір кольорів за допомогою палітри кольорів, вибір палітри, вибір палітри з випадковими кольорами, налаштування палітри.

Прикладом доцільного використання даної розробки є моделювання міського планування чи дизайну, де архітектури витрачають додатковий час, щоб згенерувати нову ідею колірної палітри для конкретного проекту. Для даних випадків передбачена також функція повного фарбування деякого необробленого проекту у вигляді чорно-білого зображення.

### Аналіз досліджень та публікацій

Запропонована в [1] робота заснована на розфарбовуванні ескізу. У даній статті пропонується напівавтоматична система навчання для розфарбовування ескізів за допомогою певного кольору, текстури та градієнта. Робота складається з двох етапів. На першому етапі модель вгадує кольорові області та розливає різноманітні кольори по ескізу, щоб отримати кольорову чернетку. На другому етапі вдосконалення модель виявляє неприродні кольори та артефакти, намагається виправити та вдосконалити результат. Порівняно з існуючими підходами, цей двоетапний дизайн ефективно розділяє складне завдання розфарбовування на дві простіші та більш зрозумілі підзадачі. Це полегшує навчання та підвищує якість

розфарбовування. Модель усуває такі артефакти, як: розмиття акварелі, спотворення кольорів, тьмяні текстури.

У публікації [2] пропонується нова технологія забарвлення, яка поширює колір на області, демонструючи безперервність візерунка, а також безперервність інтенсивності. Запропонований метод ефективно працює при розфарбовуванні чорно-білої манги, яка містить інтенсивну кількість штрихів, штрихування, напівтонування та растра. Такі тонкі деталі та розриви інтенсивності створюють багато труднощів для методів забарвлення на основі інтенсивності. Після того, як користувач накреслює малюнок, для вимірювання безперервності шаблону застосовується локальна статистична характеристика шаблону, отримана за допомогою вейвлет-фільтрів Габора. Области з відкритими межами або кілька роз'єднаних областей із подібними візерунками можна сегментувати однією дією. За допомогою сегментованих областей можна застосувати різні методи розфарбовування, щоб замінити кольори, розфарбувати зі збереженням обведення або навіть перетворити візерунок на затінення.

У роботі [3] представляється новий інтерактивний інструмент для малювання мультфільмів і анімацій. Його головна перевага - простота та гнучкість. Програма не покладається на специфічні особливості стилю, такі як однорідні області чи безперервність візерунка, але все ще пропонує порівнянню або навіть меншу ручну роботу для широкого класу стилів малювання. Крім того, програма не чутлива до неточного розміщення кольорових мазків, що робить малювання менш виснажливим і значно економить час у контекстній анімації мультфільму. LazyBrush впливає з аналізу вимог, проведеного професійними ілюстраторами чорнила та фарби, які створили список корисних функцій ідеального інструменту для малювання. У цей список входить система оптимізації, що веде до варіанту енергії Поттса з кількома цікавими теоретичними властивостями. Також показується як його ефективно мінімізувати, і демонструється його корисність у різних практичних сценаріях, включаючи конвеєр виробництва чорнила та фарби.

Автори [4] намагались вирішити наступну проблему – створення цифрового мистецтва розфарбовування та штрихування часто займають багато часу і виконуються за тими самими загальними шаблонами. Рішення для автоматичного розфарбовування необробленого штрихового зображення мало б багато практичних застосувань. Саме тому пропонується програма, що використовує дві мережі в тандемі: мережу передбачення кольору, засновану лише на контурах, і мережу затінення, що обумовлюється як контурами, так і кольоровою схемою. Представляються методи обробки для обмеження інформації, що передається в колірній схемі.

У дослідженні [5] пропонується підхід глибокого навчання для розфарбовування зображень під керуванням користувача. Система безпосередньо відображає зображення в градаціях сірого разом із розрідженими локальними «підказками» користувача для розфарбування виходу за допомогою згортової нейронної мережі (CNN). Замість того, щоб використовувати правила, визначені вручну, мережа розповсюджує редагування користувача, поєднуючи підказки низького рівня разом із семантичною інформацією високого рівня, отриманою з великомасштабних даних. Система тренується на мільйонах зображень із симуляцією введення користувачами. Щоб скерувати користувача до ефективного вибору вхідних даних, система рекомендує ймовірні кольори на основі вхідного зображення та поточних даних користувача. Кольоризація виконується за один прохід, що дозволяє використовувати його в режимі реального часу.

У дослідженні [6] демонструється система синтезу зображень на основі ескізу, яка дозволяє користувачам писати на ескізі, щоб вказати бажаний колір для об'єктів. Тоді мережа може генерувати переконливі зображення, які задовольняють обмеження користувача щодо кольору та ескізу. Мережа є прямою, що дозволяє користувачам бачити ефект своїх змін у режимі реального часу. Порівнюється з нещодавною роботою над синтезом ескізу до зображення та показується, що розглянутий підхід створює більш реалістичні, різноманітні та контрольовані результати. Архітектура також ефективна для керованого користувачем фарбування зображень у градаціях сірого.

Дослідження [7] пропонує модель під назвою автомаляр, яка може автоматично генерувати сумісні кольори за ескізом. Відстань Вассерштейна використовується при навчанні cGAN, щоб подолати колапс моделі та забезпечити набагато кращу її конвергенцію. Нова модель не тільки здатна розфарбовувати намальований вручну ескіз сумісними кольорами, але також дозволяє користувачам вказувати бажані кольори. Експериментальні результати на різних наборах ескізних даних показують, що автоматичний малюнок працює краще, ніж інші існуючі методи «зображення в зображення».

Автори дослідження [8] інтегрують умовну структуру з критеріями WGAN-GP, а також втрати сприйняття, щоб мати змогу надійно навчити глибоку мережу, яка робить синтезовані зображення більш природними та реальними. Автори також представляють мережу локальних функцій, яка не залежить від синтетичних даних. Завдяки GAN, обумовленим функціями такої мережі, помітно збільшуються можливості узагальнення порівняно з «дикими» штриховими зображеннями. Крім того, збираються два набори даних, які забезпечують високоякісні барвисті ілюстрації та автентичні штрихові зображення для навчання та порівняльного аналізу. За допомогою запропонованої моделі, навченої на даному наборі ілюстраційних даних, демонструється, що зображення, синтезовані за допомогою представленого підходу, значно реалістичніші та точніші, ніж альтернативні підходи.

У дослідженні [9] представляється альтернатива: кондиціонування низьковимірної структурованої інформації, яка може бути автоматично витягнута з вхідних даних без потреби в людських анотаторах. Зокрема, пропонується Palette-conditioned Generative Adversarial Network (Pal-GAN), архітектурно-агностичну модель, яка обумовлює як колірну палітру, так і маску сегментації для високоякісного синтезу зображення. Показуються покращення показників умовної узгодженості, перетину через об'єднання та початкової відстані Фреше. Крім того, ми показується, що вибірка кольорових палітр значно змінює стиль створених зображень.

Автори [10] пропонують новий глибокий метод розфарбовування зображення на основі прикладів, який називається мережею пірамід щільного кодування. У дослідженні визначається розфарбовування як багаточленна проблема класифікації. Враховуючи зображення в градаціях сірого та еталонне зображення, запропонована мережа використовує великомасштабні дані, а потім прогнозує кольори, аналізуючи розподіл кольорів еталонного зображення. Структура мережі – пірамідна, це для того, щоб використовувати притаманну багатомасштабну пірамідальну ієрархію представлень кольорів. Між двома суміжними рівнями пропонується ієрархічний фільтр декодер-кодер для передачі розподілу кольорів з нижчого рівня на вищий, щоб у процесі розфарбовування враховувати як семантичну інформацію, так і дрібні деталі. Експериментальні результати показують, що мережа здатна створювати барвисті, семантично правильні та візуально приємні кольорові зображення. Крім того, на відміну від повністю автоматичного розфарбовування, яке створює зображення фіксованого кольору, еталонне зображення мережі є гнучким. Для розфарбовування можна використовувати як природні зображення, так і прості кольорові палітри.

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є створення зручного інтерактивного та якісного графічного застосунку кольоризації зображення з можливістю модифікації як кольорових так і чорно-білих зображень.

### Виклад основного матеріалу

#### Огляд наборів даних

Проаналізувавши роботи у численних джерелах, я зробив висновок, що необхідно підібрати кілька наборів даних для моделі. Необхідно було підібрати різні набори даних: один для тренування генерування палітр з тексту, другий для розфарбовування зображення за допомогою згенерованих палітр. У таблиці 1 наведено основні характеристики датасетів з різновидами палітр.

Таблиця 1 [1]

#### Огляд наборів даних різновидів палітр

База даних	Кількість прикладів	Кількість унікальних слів	Особливості
PAT Dataset	10183	4312	Слова відрізняються залежно від їхнього зв'язку з кольорами
RAL Standard Color Table	214	214	Слова містять переклади
Java Palette Database	1070	1070	Доступні два механізми підказки: за семантичною спорідненістю та за колірною близькістю.

Другий набір даних – зображення, які модель повинна розмальовувати. У таблиці 2 наведено основні характеристики датасетів з різновидами зображень.

Таблиця 2 [2]

#### Огляд наборів даних різновидів зображень

База даних	Кількість прикладів	Кількість унікальних типів	Особливості
Bird256	49829	500	Містить зображення птахів
ImageNet	14000000	20000+	Анотовані вручну зображення

### Функціональні етапи роботи застосунку

Функціональні етапи роботи застосунку поділяються на три основні етапи: Визначення основних кольорів зображення (палітр); Генерація палітри кольорів з тексту; Кольоризація зображення за допомогою палітр.

*Визначення основних кольорів зображення.* Визначення основних кольорів зображення є доволі складним завданням через велике розсіювання та змішування кольорів. Дане завдання можна визначити за допомогою відомого математичного методу кластеризації K-means – потрібно визначити цільове число k, яке вказує на кількість центрів, що потрібні в наборі даних. Центроїд – це уявне або реальне

розташування, яке представляє центр кластера. Кожна точка даних розподіляється для кожного з кластерів шляхом зменшення внутрішньокластерної суми квадратів.

Принцип роботи даного етапу наведено на рис. 1.

Іншими словами, алгоритм К-середніх визначає  $k$  кількість центрів, а потім призначає кожному точку даних для найближчого кластера, зберігаючи центроїди якомога меншими. Ціль використання даного методу у визначенні основних кольорів зображення – обрати сет з  $k$  кластерів, які можуть бути використані як контрольні точки під час модифікації зображення. Для цього виділяється  $N$  кольорів (у даному прикладі 5), які і є кластерами  $K$ .

*Генерація палітри кольорів з тексту.*

Даний етап передбачає навчання моделі з використанням датасету, що містить палітри з їхніми назвами. Необхідно зробити так, щоб при введенні тексту застосунок (а точніше модель) визначав палітру кольорів, яка найбільш підходить до заданої фрази. Під час навчання генератор №1 вчиться створювати палітру кольорів із заданим набором умовних змінних, оброблених із вхідного тексту  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ .

*Кольоризація зображення за допомогою кольорових палітр.* Для кольоризації зображення також найоптимальніше використовувати згорткову нейронну мережу. Метою цієї мережі є автоматичне розфарбовування зображення в градаціях сірого, керуючись палітрою кольорів як змінною кондиціонування. Вхідними даними є зображення в градаціях сірого, що представляє освітленість у просторі, і колірна палітра, що складається з п'яти кластерів  $K$  (кольорів). Вихідні дані є передбачуваними кольоровими каналами зображення. Генератор №2 навчається передбачати розфарбований вихід зображення у градаціях сірого, заданого палітрою  $p$ , отриманої з основного зображення. Під час тестування навчені генератори №1 і №2 використовуються для створення кольорової палітри з заданого тексту, а потім розфарбовують зображення сірого відтінку, що відображає згенеровану палітру.

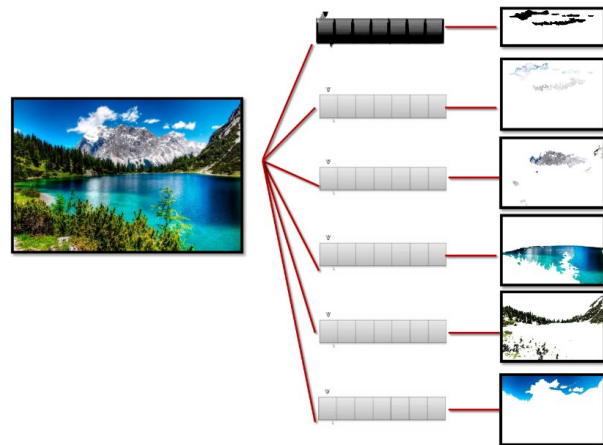


Рис. 1. Принцип роботи визначення основних кольорів зображення

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведеної роботи було розроблено інтерактивний графічний застосунок кольоризації зображення. Дана розробка передбачає кольоризацію за допомогою текстових фраз, що значно спрощує використання програми. Застосунок враховує вибір користувача за допомогою інтерактивних інструментів: текстове повідомлення бажаного кольору за допомогою інформативної фрази (напр. «жовтневий дощ»), вибір кольорів за допомогою палітри кольорів, вибір палітри, вибір палітри з випадковими кольорами, налаштування палітри.

Точність розробленої моделі перетворення пелетів становить 82%, що є хорошим показником, проте його можна покращити, збільшивши набір даних палітр.

Функціональні етапи розробки скомпоновані в одному застосунку зі зручним графічним інтерфейсом, у якому користувач може завантажити чорно-біле або кольорове зображення, визначити його кольори, модифікувати кольори зображення та зберегти його, або ж зберегти палітру для подальшої роботи.

Результати роботи можуть бути спрямовані на моделювання міського планування чи дизайну, де архітектури витрачають додатковий час, щоб генерувати нові ідеї кольорових палітр для різних проектів.

### References

1. Jeong Y., Lvmin Zhang, Chengze Li, Tien-Tsin Wong, Yi Ji, and Chunping Liu. 2018. Two-stage sketch colorization. *ACM Trans. Graph.* 37, 6, vol. 261 (2018), 14 p. doi: <https://doi.org/10.1145/3272127.3275090>.
2. Yingge Qu, Tien-Tsin Wong, and Pheng-Ann Heng. 2006. Manga colorization. *ACM Trans. Graph.* 25, 3 (2006), 1214–1220. doi: <https://doi.org/10.1145/1141911.1142017>.
3. Sýkora D., Dingliana J. and Collins S. (2009), LazyBrush: Flexible Painting Tool for Hand-drawn Cartoons. *Computer Graphics Forum*, вип. 28: 599-608. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01400.x>.
4. Frans K., Ho J., Chen X., Abbeel P., Schulman J. arXiv preprint, 2017. 309, 2017. Outline colorization through tandem adversarial networks.
5. Richard Zhang, Jun-Yan Zhu, Phillip Isola, Xinyang Geng, Angela S. Lin, Tianhe Yu, and Alexei A. Efros. 2017. Real-time user-guided image colorization with learned deep priors. *ACM Trans. Graph.* 36, 4, vol. 119 (2017), 11 p. doi: <https://doi.org/10.1145/3072959.3073703>.
6. Sangkloy, Patsorn, Jingwan Lu, Chen Fang, Fisher Yu and James Hays. "Scribbler: Controlling Deep Image Synthesis with Sketch and Color." 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (2017): 6836-6845.

Надійшла/Paper received : 22.09.2022 р. Надрукована/Printed :01.11.2022 р.