

УДК 655.3.021

DOI: 10.20535/2077-7264.2(76).2022.267428

© В. П. Ткаченко, канд. техн. наук, проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, А. С. Гордєєв, д-р техн. наук, проф., Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, м. Харків, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДИСКРЕТИЗАЦІЇ ДЛЯ РЕПРОДУКУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З НИЗЬКОЮ РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ

В статті розглядається проблема збільшення роздільної здатності зображень, що означає зміну величини пікселів світлин та збільшення їх кількості на одиницю довжини (дюйм). Виявлено наскільки якісно збільшується роздільна здатність за допомогою онлайн-редактора Photo Enlarger.

Ключові слова: система управління кольором; модель; передискретизація; роздільна здатність.

Постановка проблеми

На етапі розвитку економічних відносин замовники постійно підвищують вимоги до якості поліграфічної продукції. Частина додрукарської підготовки видання замовники виконують самі. За такого підходу неминуче виникають труднощі у взаємодії окремих ланок технологічного ланцюга, зокрема, етапу обробки образотворчої інформації.

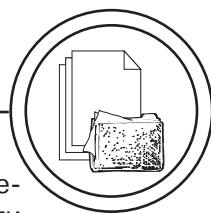
На цьому етапі утворилася загальна потреба в системах управління якістю зображень з низькою роздільною здатністю, здатних звести до мінімуму труднощі такого роду. Це призвело до кардинального поліпшення систем обробки образотворчої інформації в цілому.

Аналіз попередніх досліджень

Управління якістю зображень є звичайною процедурою при фо-

тографуванні природних об'єктів; розроблено достатньо інструментів, що гарантують точне цифрове зображення або аналогове відтворення (друк на папері, екранні або дисплейні проектори тощо). Колірні моделі, отримані як фотограметрично, так і за допомогою сканерів, ще не досягли такого розвитку і часто будуються без уваги до колориметричної якості результату [1, 2].

У роботі [3] пропонуються колірні моделі, які враховують зважені за помітністю різниці кольорів і баланс площ у колірному просторі CIE Lab. Експериментальні результати показують, що комбінації кольорів зі схожою насиченістю, але характерною легкістю призводять до гармонійних зображень, у той час як прості кольорові плями відповідно до місцевого контексту сприяють ство-



ренню зображень, що гармонують з навколишнім середовищем.

У роботах [4–6] пропонується змоделювати перенесення кольору в рамках імовірнісної моделі та подати її як завдання оцінки параметрів. Зокрема, передане зображення зв'язується із зображенням як приклад моделі гаусової суміші (GMM) і розглядається колір переданого зображення як центроїди GMM, при цьому використовується алгоритм максимізації очікувань (EM) (E-крок і M-крок) оптимізації. Такий підхід дозволяє генерувати кілька результатів передачі кольору зі збільшенням ітерацій EM.

Відтворення кольорових зображень та визначення параметрів колірних перетворень багато в чому визначається виробничим досвідом оператора. Відсутність повної інформації про оптимальні перетворення конкретного оригіналу, звужує можливості повноцінного репродукування поліграфічної продукції [7, 8].

Семантика графічного оригіналу визначає методи контролю якості друку. Необхідність обліку таких параметрів як контраст у сюжетно-важливих та фонових ділянках, розподіл колірної інформації всередині інтервалу градацій призводить до необхідності розробки додаткових вимог на кольорові оригінали [9, 10].

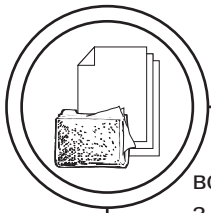
Точне вимірювання корельованої колірної температури (CCT), яка представляє колір джерела світла, має вирішальне значення у фотометричних дослідженнях. Дослідження [7, 11, 12] показують, що значення CCT у навколишньому середовищі надає різноманітний та важливий вплив на людське сприйняття та поведінку. Зна-

чення CCT навколишнього середовища можна точно виміряти за допомогою спектрорадіометрів, які являють собою спеціальні та відносно дорогі вимірювальні пристрої, призначені для точного вимірювання яскравості та кольоровості світла.

У роботах [11, 12] пропонується альтернативний підхід до цих двох методів вимірювання CCT у навколишньому середовищі. Значення CCT середовищ визначені ближчими до результатів спектрорадіометричних вимірювань завдяки моделі глибокої регресії, розробленої в рамках даного дослідження з використанням лише RGB-камер.

У роботі [13] проаналізовано колір у цифрових зображеннях, які нещодавно набули популярності в дослідженнях рослин, внаслідок зниження вартості пристроїв обробки зображень, збільшення роздільної здатності зображень та можливостей обробки та аналізу. Автори розробили універсальне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке можна використовувати для створення моделей, що характеризують певні підмножини кольорів у цифрових зображеннях.

Враховуючи вище наведене з актуальності вирішення проблеми передискретизації (upsampling) колірного охоплення в поліграфії, можна констатувати, що спеціалізована література в основному звертається лише до теоретичного опису можливостей алгоритмів перерахунку колірних просторів. Ні в одному з літературних джерел немає описів якого-небудь практичного підтвердження вірності теоретичних передумов. Незрозуміло, чи про-



водилися будь-які експерименти з метою з'ясувати, чи збігається теорія з практикою.

Мета роботи

Визначення ефективного методу передискретизації кольорових зображень для наступного їх якісного репродукування.

Результати проведених досліджень

На світлинах роздільна здатність відображає рівень деталізації зображення, який визначається такими чинниками як точність фокусування, якість об'єктива та кількість пікселів датчика камери. Однак, водночас, роздільна здатність також може стосуватися більш конкретних аспектів, таких як роздільна здатність об'єктива, кількість пікселів на дюйм у друкованій версії та загальна кількість пікселів цифрового зображення.



Рис. 1. Звичайна обробка зображень

Більшість основних програм обробки світлин дозволяє збільшити кількість пікселів зображення. Труднощі ж у тому, щоб отримати певні значимі деталі (чи ілюзію). Залежно від функціональних можливостей програмного забезпечення (ПЗ) зображення буде виглядати більш/менш сфокусоване, але без видимих пікселів (рис. 1).

Відповідно до рис. 1 неможливо отримати деталізоване верхнє зображення з оригіналу з низькою роздільною здатністю. Для збільшення роздільної здатності зображення (у даному випадку кількості пікселів) в процесі обробки проводять операцію передискретизації.

Складність передискретизації полягає в тому, як згенерувати нові зразки даних та заповнити їх зображеннями з високою роздільною здатністю. Використання штучного інтелекту дозволяє проводити розпікселізацію зображення. Дослідники [14] показали роботу такої системи, яка генерує зображення з підвищенням частоти дискретизації в 64 рази порівняно з оригіналом з низькою роздільною здатністю. У розробці використали алгоритм дослідження прихованого простору. Система показала, що відтворене зображення може відрізнитися від оригіналу. Тобто алгоритм «модельює» обличчя (рис. 2).

Синтія Рудін (професор комп'ютерних наук, Університет Дьюка, Дарем, Північна Кароліна) прокоментувала розробку: «Ми довели, що ви не можете розпізнати обличчя за розмитими зображеннями, тому що тут дуже багато можливостей. Таким чином, масштабування та покращення, що пере-

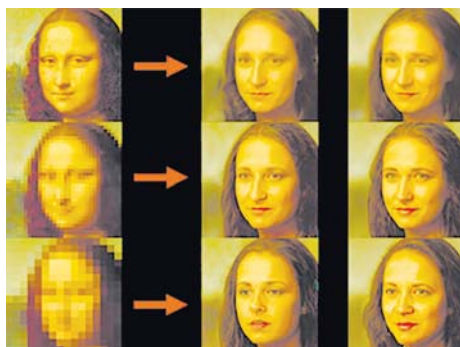
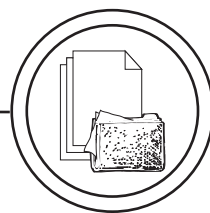


Рис. 2. Відтворення зображення за допомогою технології штучного інтелекту

вищують певний пороговий рівень, не можуть існувати» [14].

Найвідоміший редактор для роботи з роздільною здатністю зображення (крім Adobe Photoshop) — Genuine Fractals, наразі — ON1 Resize. Алгоритм Preserve Details 2.0 в Adobe Photoshop CC значно перевершує ON1 Resize, яка є гідним альтернативним варіантом спеціалізованого програмного забезпечення для зміни розміру зображення. Крім цього, ще одним варіантом є GIMP — безкоштовне програмне забезпечення для редагування фотографій з відкритим вихідним кодом, яке є однією з найпопулярніших аль-

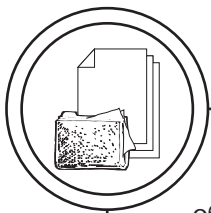
тернатив, причому не тільки для передискретизації (рис. 3).

В цій роботі виконано тестування світлини для виявлення відмінностей в її передискретизації. Як вихідне використано зображення розміром 60×60 пікселів/мм (рис. 4), яке збільшено до розміру 180×80 пікселів/мм.

Для обробки зображення у Adobe Photoshop CC обрано функцію Preserve Details 2.0 (Preferences → Technology Previews), яка використовується як для світлин, так і для ілюстрацій. В результаті растеризування зміниться розмір зображення до 180×180 пікселів/мм (рис. 5).



Рис. 3. Використання програмного забезпечення GIMP для зміни розміру зображення



Альтернативним варіантом обробки зображення є ПЗ GIMP — завдяки великому функціональному інструментарію та наявності безкоштовної версії. Пейзажний знімок у GIMP забезпечує кращі результати, ніж згладжування в Adobe Photoshop, але на ілюстрації наявні більш нерівні краї. Збільшений розмір зображення до 180×180 пікселів/мм з використанням ПЗ GIMP наведено на рис. 6.

Ще одним з популярних варіантів онлайн-програм для збільшення роздільної здатності світлин є Photo Enlarger. На рис. 7 наведено зображення збільшене до розміру 180×180 пікселів/мм з використанням ПЗ Photo Enlarger, де, зокрема, пейзажна фотографія деталізована в області річки та трави, але не виглядає при цьому природно різкою.

Спеціалізоване ПЗ ON1 Resize має більше функціональних можливостей для зміни розміру зображення, яке при цьому виходить

чітким, завдяки використанню при його обробці модулю налаштування різкості.

Методика вимірювань і спосіб представлення отриманих результатів полягає в тому, що для визначення балансу кольорів на світлині необхідно проаналізувати вміст основних кольорів (наприклад, вміст кольорів адитивного синтезу) за ахроматичними відтінками. За наявною на зображенні ахроматичною статечною шкалою в ПЗ Adobe Photoshop CC інструментом «Піпетка» визначаємо на кожному полі координати RGB, значення яких відображаються на панелі «Інфо». Безпосередньо на тест-об'єкті у матеріальній формі виміряти спектрофотометром координати RGB неможливо, оскільки цей колірний простір є апаратно залежним.

За описаною методикою аналізуємо цифрові світлини, оброблені ПЗ фотокамери у трьох різних режимах налаштування ба-



Рис. 4. Вихідне зображення розміром 60×60 пікселів/мм



Рис. 5. Передискретизація зображення з використанням ПЗ Adobe Photoshop CC

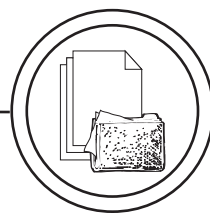


Рис. 6. Передискретизація зображення з використанням ПЗ GIMP



Рис. 7. Передискретизація зображення з використанням ПЗ Photo Enlarger

лансу білого та записаних у форматі jpeg. За допомогою RAW-конвертера Adobe CameraRaw Perezберігаємо світлини у форматі tiff. Отже, отримуємо світлини без стиснення даних на відміну від світлин у форматі jpeg, на яких аналогічним чином визначаємо координати кольору у ПЗ Adobe Photoshop CC.

Аналогічно отримаємо ще три світлини з відкоригованим балансом білого кольору за допомогою одноіменного інструмента RAW-конвертера Adobe CameraRaw, яким позначаємо зразок нейтрально-сірого кольору для визначення алгоритму подальшого коригування ступеня збалансування кольорів.

Висновки

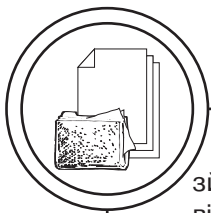
Стиснення колірної інформації відбувається нерівномірно і нелінійно (для різних алгоритмів). Завдяки новому алгоритму передискретизації ПЗ Adobe Photoshop CC забезпечує найкращі можливості обробки світлин, але альтер-

нативним варіантом серед безкоштовних онлайн-редакторів роздільної здатності зображень є Photo Enlarger.

Найбільш точно відтворюють інформацію про колір методи його перерахунку Absolute Colorimetric і Relative Colorimetric. Однак, при використанні алгоритму Absolute Colorimetric на кольоропробних відбитках помітна значна втрата інформації в темних ділянках зображення.

Проведені дослідження свідчать, що режим мануального балансу білого на етапі фотографічної зйомки потребує додаткового матеріального забезпечення, а результат збалансування кольорів не кращий за отриманий засобами RAW-конвертора.

Оскільки, крім удосконалення колірних показників світлин, RAW-формат забезпечує кращі градаційні характеристики, а реалізація функції балансу білого не вимагає застосування вартісних тест-об'єктів, оптимальним рішенням є здійснення фотографічної



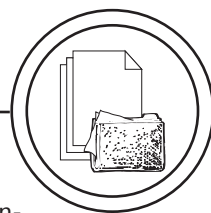
зйомки у такій послідовності: за відповідного освітлення сцени виконати експозицію тест-об'єкта нейтрального сірого кольору, провести саму зйомку при автоматичному балансі білого і оцифруванні фото-зображень у RAW-формат і наступному пакетному опрацюванні балансу кольорів всіх фотозображень у середовищі RAW-конвертора. Така послідовність реалізації технологічно-

го процесу знизить його трудомісткість та забезпечить високі якісні показники фотозображення.

Вцілому, результати проведеного дослідження дозволяють припустити, що використання методу передискретизації дозволить покращити чіткість та різкість деталей зображення у широкому спектрі технологій відтворення та репродукування друкованої продукції.

Список використаної літератури

1. F. Pérez-Rodríguez, E. Gómez-García. Codelplant: Regression-based processing of RGB images for color models in plant image segmentation // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 163. Article 104880.
2. S. Cho, H. Byun. Dynamic curve color model for image matting // *Pattern Recognition Letters*. 2022. Vol. 33. pp. 920–933.
3. C. Gu, X. Lu, C. Zhang. Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling // *Pattern Recognition*. 2022, Vol. 129.
4. P. Lu, X. Peng, X. Wang. Image color harmony modeling through neighborhood co-occurrence colors // *Neurocomputing*. 2016. Vol. 201. pp. 82–91.
5. K. B. Schloss, L. Lessard, A. C. Hurlbert. Modeling color preference using color space metrics // *Vision Research*. 2017. Vol. 151. pp. 99–116.
6. V. Pulla, X. Serrano. Modeling of a neuro fuzzy system to develop an efficient method to get a specific color paint from the color model cyan, magenta and yellow (CMY) under terms of open source // *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 61. pp. 486–491.
7. L. Wu, X. Zhang, Y. Zhou. Unsupervised quaternion model for blind colour image quality assessment // *Signal Processing*. 2020. Vol. 176. Article 107708.
8. Афанасьев Д. В. Систематизація технологій стиснення зображень у систем поліграфічного репродукування / Д. В. Афанасьев, Я. В. Зоренко // *Технологія і техніка друкарства*. 2019. № 1(63). С. 45–57. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(63\).2019.166144](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(63).2019.166144).
9. Ковальський Б. М. Інформаційна технологія кольороподілу зображення: монографія / Б. М. Ковальський. Львів: Укр. акад. друкарства, 2020, 36–58 с.
10. Петрова К. Передумови врахування колірному простору при виборі технології для обробки зображень / К. Петрова, О. Зелений, Ж. Дейнеко // *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. 2022. С. 74–75.
11. S. Bereg, F. Ma, B. Zhu. On some matching problems under the color-spanning model // *Theoretical Computer Science*. 2018. Vol. 786. pp. 26–31.
12. P. Lu, X. Peng, X. Wang. Towards aesthetics of image: A Bayesian framework for color harmony modeling // *Signal Processing: Image Communication*. 2015. Vol. 39. pp. 487–498.
13. Ковальський Б. М. Взаємозв'язок основоположних понять теорії кольору з кольоровідтворенням у сучасних цифрових системах / Б. М. Ковальський, В. О. Дудяк., Н. В. Занько, Н. С. Писанчин // *Поліграфія і видавнича справа*. 2018. № 1(75). С. 19–30.
14. Исследователи ИИ обнаружили предел распискеллизации лиц на фото. Электронный ресурс. [Режим доступа]: <https://habr.com/ru/news/t/508352/>.



References

1. Pérez-Rodríguez, F., & Gómez-García, E. (2019). Codelplant: Regression-based processing of RGB images for color models in plant image segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 163, Article 104880.
2. Cho, S., & Byun, H. (2022). Dynamic curve color model for image matting. *Pattern Recognition Letters*, Vol. 33, 920–933.
3. Gu, C., Lu, X. & Zhang, C. (2022). Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling. *Pattern Recognition*, Vol. 129.
4. Lu, P., Peng, X., & Wang, X. (2016). Image color harmony modeling through neighbored co-occurrence colors. *Neurocomputing*, Vol. 201, 82–91.
5. Schloss, K. B., Lessard L., & Hurlbert, A. C. (2017). Modeling color preference using color space metrics. *Vision Research*, Vol. 151, 99–116.
6. Pulla, V., & Serrano, X. (2015). Modeling of a neuro fuzzy system to develop an efficient method to get a specific color paint from the color model cyan, magenta and yellow (CMY) under terms of open source. *Procedia Computer Science*, Vol. 61, 486–491.
7. Wu, L., Zhang, X., & Zhou, Y. (2020). Unsupervised quaternion model for blind colour image quality assessment. *Signal Processing*, Vol. 176, Article 107708.
8. Afanasyev, D. V., & Zorenko, Ya. V. (2019). Systematyzatsiia tekhnolohii stysnennia zobrazhen na system polihrafichnoho reprodukovannia [Systematization of image compression technologies in polygraphic reproduction systems]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 1(63), 45-57. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(63\).2019.166144](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(63).2019.166144) [in Ukrainian].
9. Kovalskyi, B. M. (2020) *Informatsiina tekhnolohiia koloropodilu zobrazhennia [Information technology of image color separation]*. Lviv: Ukr. akad. drukarstva, 36–58 p. [in Ukrainian].
10. Petrova, K., Zelenyi, O., & Deineko, Zh. (2022). Peredumovy vrakhuvannia kolirnoho prostoru pry vybori tekhnolohii dlia obrobky zobrazhen. *Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnolohii*, 74–75 [in Ukrainian].
11. Bereg, S., Ma, F., & Zhu, B. (2018). On some matching problems under the color-spanning model. *Theoretical Computer Science*, Vol. 786, 26–31.
12. Lu, P., Peng, X. & Wang, X. (2015). Towards aesthetics of image: A Bayesian framework for color harmony modeling. *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 39, 487–498.
13. Kovalskyi, B. M., Dudyak, V. O., Zanko, N. V., & Pysanchyn, N. S. (2018). Vzaiemozv'iazok osnovopolozhnykh poniat teorii koloru z kolorovidtvorenniam u suchasnykh tsyfrovnykh systemakh [The relationship between the basic concepts of color theory and color reproduction in modern digital systems]. *Printing and publishing*, 1(75), 19–30 [in Ukrainian].
14. *Issledovateli II obnaruzhili predel raspikselizatsii lits na foto*. Retrieved from <https://habr.com/ru/news/t/508352/>.

The article considers the problem of increasing the resolution of images, which means changing the size of the pixels of a photo and increasing their number per unit of length (inches). It has been revealed how qualitatively the resolution is increased with the help of the online editor Photo Enlarger.

Keywords: color management system; model; upsampling; resolution.

Надійшла до редакції 09.09.22