

УДК 655.3.021

ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

В. П. Ткаченко¹, А. С. Гордєєв²

¹Харківський національний університет радіоелектроніки,
просп. Науки, 14, Харків, 61166, Україна

²Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця,
просп. Науки, 9-А, Харків, 61166, Україна

Розглянуто проблему використання віртуальних метрик для оцінки якості кольорових зображень. Контроль якості стисненого зображення є складним і неоднозначним процесом. Традиційні показники аналізу якості зображення містять метрики PSNR і MSE, а також структурні показники (SSIM) і багатомасштабні MSSIM. Визначено оптимальні значення метричних показників, що відповідають зображенням із найкращою різкістю – такі ж, як і за візуальної експертної оцінки. Розглянуті метрики засновані на оцінці різкості зображення. Запропонований підхід доцільно використовувати для попередньої оцінки якості одержуваного зображення на етапі підготовки до друку. Метрики PSNR вміщують характеристики, що оцінюють на основі властивостей контрастної чутливості зору. При наступному друкуванні експериментальних зразків межі переривчастих ліній згладжуються порівняно з вихідним файлом: з одного боку, при друкуванні ширина ліній збільшується (у напрямку друку), з іншого боку, витік чорнила згладжує нерівності меж ліній.

Ключові слова: візуальні метрики, якість, контрастність, різкість, кольорові зображення, декомпозиція.

Постановка проблеми. При виконанні завдань, пов'язаних з обробкою та аналізом зображень, виникає проблема оцінки якості зображення. Найбільшого поширення набули методи оцінки якості зображення шляхом порівняння з еталоном. У цьому разі одне із зображень приймається як зразок, а всі наступні порівнюються з ним. Як міра близькості, а отже, міра якості може виступати, наприклад, середньоквадратичне відхилення або коефіцієнт кореляції. Незважаючи на простоту та ефективність такого підходу, на практиці не завжди можливе його застосування через відсутність еталонного зображення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Контроль якості компресованого зображення досить складний та неоднозначний. На сьогодні існує безліч методів та метрик аналізу якості зображень. До традиційних метрик належать PSNR та MSE, до більш складних – метрики структурної подоби (SSIM) та багатомасштабні MSSIM [1–3]. Метод SSIM виконує порівняння двох зображень та оцінює їхні

зміни за яскравістю, контрастом та структурою [4–5]. Порівняння пікселів зображень виконується за допомогою вікна, де оцінюється якість зображення, що виражається величиною середньої різниці (DMOS). Цей метод популярніший, ніж PSNR і MSE, оскільки він більш інформативний і ближче до зорового сприйняття різниці між зображеннями [6–8]. З відомих метрик виділимо D-IQM (метрика якості зображення за рівнем детальності) [9–11], яка може бути подібна до пропонуваної метрики в нашій статті. У лабораторії LIVE (Laboratory for Image & Video Engineering) Техаського університету в Остіні [12] наводяться сучасні публікації з описом та порівняльним аналізом найбільш популярних метрик (SSIM, VSNR, IFC, VIF, MSVD, PSNR та ін.) оцінки якості зображень із використанням різних баз даних оригінальних та спотворених зображень.

Результати оглядових досліджень показують, що у всіх відомих об'єктивних метриках оцінки якості компресованих зображень мало враховуються властивості людського зору у сфері сприйняття дрібних деталей і структур зображення. Досі найнадійнішими вважаються суб'єктивні експертні оцінки (MOS). Крім того, поки що немає єдиної методики кількісної оцінки ефективності алгоритмів аналізу якості зображень [13].

Мета статті – визначення оптимальних значень показників віртуальних метрик, що відповідають зображенням із найкращою різкістю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянуті вище методи оцінки якості кольорових зображень є загальноприйнятими та найпоширенішими. Останнім часом для вдосконалення кількісних порівняльних критеріїв оцінки вводять додаткові коефіцієнти, орієнтовані на адаптацію запропонованих кількісних критеріїв під систему зору людини (HVS – human vision system). Адаптація полягає у введенні набору коефіцієнтів, отриманих емпірично.

Цей підхід наблизив кількісні оцінки до суб'єктивних, але процес адаптації удосконалюється досі. Використання методів оцінки якості зображення для вибору методу обробки зображення цілком виправдано, проте не розглянуто можливість застосування таких методів оцінки для прогнозу якості результату обробки зображення. Маючи такий прогноз, можна приймати рішення не тільки про ступінь необхідності обробки зображення, але й про умови отримання зображення.

Найбільш поширеним та широко застосовуваним критерієм для еталонної оцінки якості є пікове значення сигнал/шум (PSNR). У ряді джерел (наприклад, [4–5]) вважається, що саме PSNR відображає достовірність сигналу. Це твердження базується на тому простому факті, що у розрахунку PSNR беруть участь попиксельні різниці між вихідним та відновленим зображеннями. Однак навряд чи таку думку можна вважати правильною, тому що в PSNR ніяк не враховується кореляція між помилками, які можуть суттєво впливати на суб'єктивне сприйняття зображення.

Методика проведення експериментів полягала у стисканні тестового зображення на 400 %. Далі стислі зображення відновлювалися різними методами у графічних редакторах Adobe Photoshop, GIMP та Image Enlarger із кроком 20 % до вихідного стану. На основі експериментальних даних оцінювалася метрика PSNR, що дало можливість порівняти різні способи декомпозиції зображень.

Отримані залежності величини позитивного чи негативного впливу адаптивної обробки дозволяють прогнозувати якість відтворення контурів та деталей растрової графіки.

При збільшенні будь-якого зображення воно стане «піксельним». Фірма Adobe розробила кілька алгоритмів інтерполяції зображень, які перетворюють квадратні пікселі та забезпечують плавний перехід зі збільшенням розміру зображення. Додаткові пікселі створюються шляхом аналізу сусідніх пікселів та вибору середнього кольору для плавного переходу, що призводить до розмиття деталей.

Під час дослідження розмір зображення збільшувався з 510×680 до 3000×4000 пікселів. Зі збільшенням розміру зображення погіршується його якість. Помітне для ока погіршення якості зображення починається зі збільшенням понад 260 % (рис. 1).

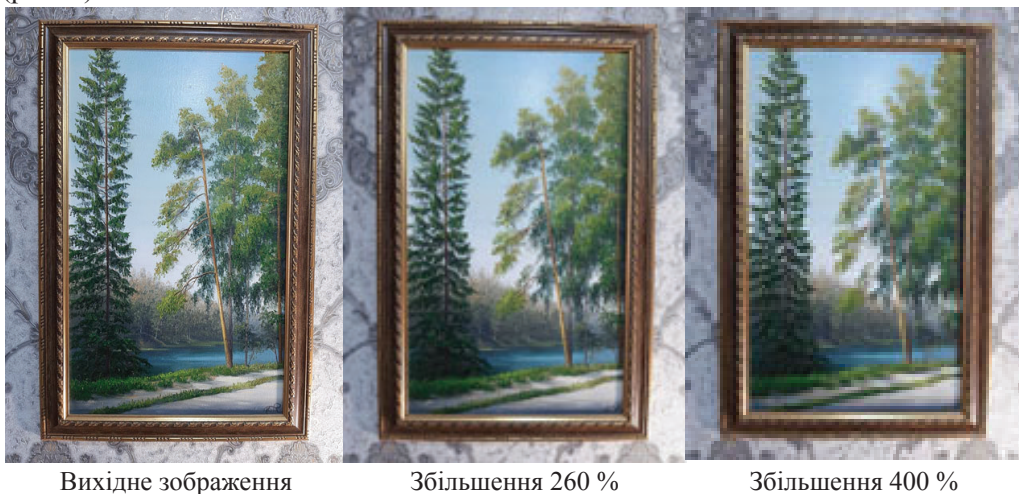
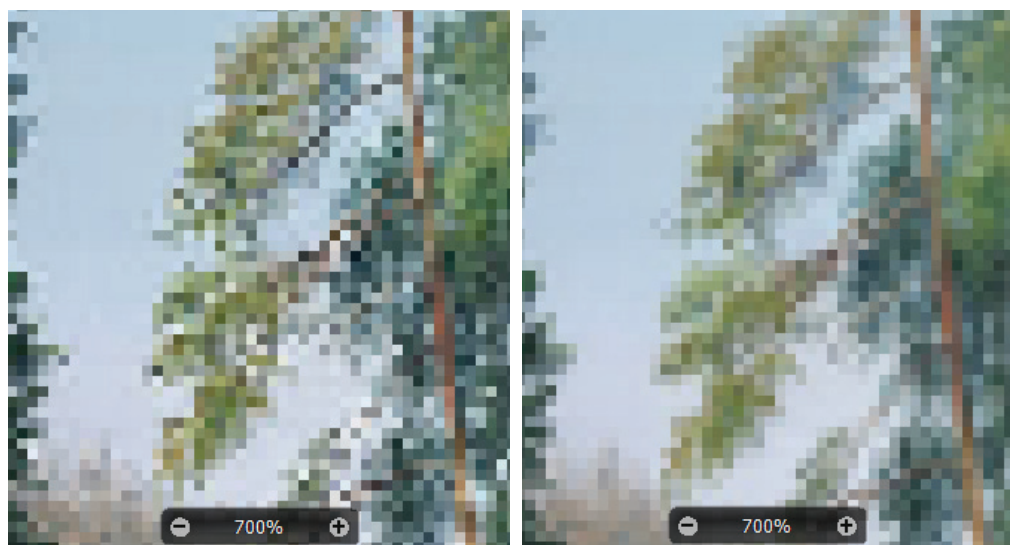


Рис. 1. Порівняння якості зображень при різному збільшенні

Adobe Photoshop дозволяє здійснювати перетворення графічних об'єктів за допомогою кількох режимів: автоматично, зберегти деталі (зі збільшенням), бікубічний, білінійний та ін. Найкращу контрастність забезпечує ресамплінг у режимі «По сусідніх пікселях», найгірший варіант – білінійний ресамплінг (рис. 2).

Більшість методів декомпозиції розроблено та протестовано для зображень у градаціях сірого або компоненти Y (інтенсивності) кольорових зображень щодо JPEG або JPEG-подібних (які працюють у блоках 8×8 пікселів) методів стиснення із втратами. При аналізі ефективності методів декомпозиції широко використовується метрика PSNR та візуальний аналіз.

У таблиці наведено значення метрики PSNR для JPEG. Видно, що найкращі результати забезпечує метод «По сусідніх пікселях (чіткі краї)», який підвищує зображення PSNR на 0,41 дБ. При цьому методи Adobe Photoshop у порівнянні з методами GIMP забезпечують якість зображень гіршу всього на 0,05...0,2 дБ. Водночас швидкодія методів Adobe Photoshop суттєво вища (приблизно в 10 разів).



Ресамплінг у режимі
«По сусідніх пікселях (чіткі краї)»

Ресамплінг у режимі «Білінійний»

Рис. 2. Порівняння режимів ресамплінгу

Таблиця

Декомпозиція кольорових JPEG зображень в Adobe Photoshop, PSNR, дБ

Режим ресамплінгу	Ступінь збільшення вихідного зображення, %							
	120	140	160	180	200	220	240	260
Автоматично	82,6	67,9	69,4	69,1	60	54,1	56,4	50,9
Зберегти деталі (зі збільшенням)	70,6	71,9	65,4	61,1	50	56,1	52,4	38,9
Збереження деталей 2.0	87,6	85,9	82,4	77,1	73	66,1	67,4	63,9
Бікубічний (зі збільшенням)	70,6	82,9	75,4	52,1	67	48,1	49,4	45,9
Бікубічний (зі зменшенням)	74,6	68,9	64,4	59,1	58	47,1	49,4	48,9
Бікубічний (плавні градієнти)	77,6	67,9	65,4	68,1	65	53,1	53,4	44,9
По сусідніх пікселях (чіткі краї)	62,6	57,9	49,4	46,1	43	40,1	36,4	32,9
Білінійний	82,6	67,9	69,4	69,1	60	54,1	56,4	50,9

На рис. 3–4 представлені інтегральні графіки, що дозволяють порівняти ефективність декомпозиції кольорових зображень для методів Adobe Photoshop та GIMP за допомогою метрики PSNR. Очевидно, що, згідно з метрикою PSNR, метод Adobe Photoshop забезпечує кращу візуальну якість при масштабуванні, ніж GIMP.

При подальшому друку експериментальних зразків зруйновані межі ліній де-що згладжуються порівняно з файлом, що виводиться: з одного боку, при друку збільшується ширина ліній (особливо в напрямку друку), а з іншого – затікання фарби згладжує нерівності на межах ліній.

У процесі експериментів та аналізу понад 100 компресованих JPEG фотореалістичних зображень з різною детальністю ми отримали середньоквадратичне відхилення $MFSD_{min} \approx 0,5$, при якому спотворення стають непомітними (малопомітними) для ока.

Різкість зображення – характеристика, що визначається шириною зони переходу (розмиття) на межах деталей в зображенні. З графіків на рис. 3–4 можна зробити висновок про те, що різкість меж покращується зі зменшенням значення PSNR. При цьому якість зображень відповідає градаціям High та Maximum суб’єктивної шкали програми Adobe Photoshop. Порівняння отриманого результату з результатами метрик PSNR і SSIM показує, що ці метрики мають розкид оцінок від 0,972 до 0,987 (SSIM) і від 35,8 до 41,8 дБ (PSNR). Отже, за цими метриками можна однозначно визначити, за яких значень спотворення дрібних структур для будь-яких зображень будуть непомітні, тобто моделюється вигляд зображення, яким його побачить споживач/замовник друкованої продукції.

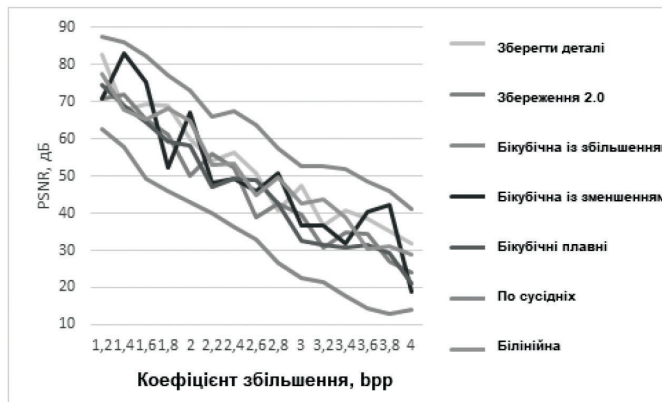


Рис. 3. Залежність PSNR від bpp для аналізованих методів Adobe Photoshop

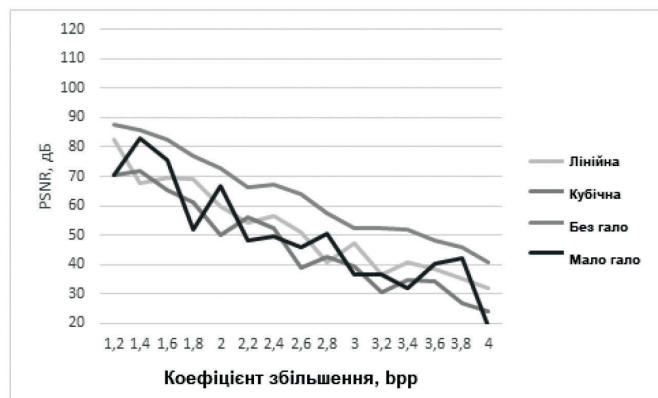


Рис. 4. Залежність PSNR від bpp для аналізованих методів у GIMP

Висновки. Оптимальні значення розрахованих метрик, що відповідають зображенням із найкращою різкістю, збігаються з експертною візуальною оцінкою. Незважаючи на те, що розглянуті заходи базуються здебільшого на оцінці різкості та контрасту зображення, будь-яку з метрик можна використовувати для умовної оцінки якості зображення, отриманого в однакових умовах.

До особливостей метрики PSNR належить те, що вона дозволяє оцінювати спотворення з урахуванням властивостей контрастної чутливості зору. Об'єктивність метрики підтверджена результатами аналізу компресованих зображень у стандартах JPEG та JPEG2000 за допомогою суб'єктивної шкали якості програми Adobe Photoshop CS6, а також результатами суб'єктивного аналізу зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pérez-Rodríguez Fernando, Gómez-García Esteban. Codelplant: Regression-based processing of RGB images for color models in plant image segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 163.
2. Sunyoung Cho, Hyeran Byun. Dynamic curve color model for image matting. *Pattern Recognition Letters*. 2022. Vol. 33. 920–933.
3. Chunzhi Gu, Xuequan Lu, Chao Zhang. Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling. *Pattern Recognition*. 2022. Vol. 129.
4. Peng Lu, Xujun Peng, Xiaojie Wang. Image color harmony modeling through neighbored co-occurrence colors. *Neurocomputing*. 2016. Vol. 201. 82–91.
5. Schloss Karen B., Lessard Laurent, Hurlbert Anya C. Modeling color preference using color space metrics. *Vision Research*. 2017. Vol. 151. 99–116.
6. Pulla Victor, Serrano Xavier. 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. 486–491.
7. Bereg Sergey, Ma Feifei, Zhu Binhai. On some matching problems under the color-spanning model. *Theoretical Computer Science*. 2018. Vol. 786. 26–31.
8. Peng Lu, Xujun Peng, Xiaojie Wang. Towards aesthetics of image: A Bayesian framework for color harmony modeling. *Signal Processing: Image Communication*. 2015. Vol. 39. 487–498.
9. Leyuan Wu, Xiaogang Zhang, Yicong Zhou. Unsupervised quaternion model for blind colour image quality assessment. *Signal Processing*. 2020. Vol. 176.
10. Взаємозв'язок основоположних понять теорії кольору з кольоровідтворенням у сучасних цифрових системах / Ковальський Б. М., Дудяк В. О., Занько Н. В., Писанчин Н. С. *Поліграфія і видавнича справа*. 2018. 1 (75). С. 19–30.
11. Афанасьев Д. В., Зоренко Я. В. Систематизація технологій стиснення зображень у систем поліграфічного репродукування. *Технологія і техніка друкарства*. 2019. 1 (63). С. 45–57.
12. Ковальський Б. М. Інформаційна технологія кольороподілу зображення : монографія. Львів : Укр. акад. друкарства, 2020. С. 36–58.
13. Петрова К., Зелений О., Дейнеко Ж. Передумови врахування колірнього простору при виборі технології для обробки зображень. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. ХНУРЕ, 2022. С. 74–75.

REFERENCES

1. Pérez-Rodríguez, Fernando, & Gómez-García, Esteban. (2019). Codelplant: Regression-based processing of RGB images for color models in plant image segmentation: *Computers and Electronics in Agriculture*, 163 (in English).
2. Sunyoung, Cho, & Hyeran, Byun. (2022). Dynamic curve color model for image matting: *Pattern Recognition Letters*, 33, 920–933 (in English).
3. Chunzhi, Gu, Xuequan, Lu, & Chao, Zhang. (2022). Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling: *Pattern Recognition*, 129 (in English).
4. Peng, Lu, Xujun, Peng, & Xiaojie, Wang. (2016). Image color harmony modeling through neighbored co-occurrence colors: *Neurocomputing*, 201, 82–91 (in English).
5. Schloss, Karen B., Lessard, Laurent, & Hurlbert, Anya C. (2017). Modeling color preference using color space metrics: *Vision Research*, 151, 99–116 (in English).
6. Pulla, Victor, & Serrano, Xavier. (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*, 61, 486–491 (in English).
7. Bereg, Sergey, Ma, Feifei, & Zhu, Binhai. (2018). On some matching problems under the color-spanning model: *Theoretical Computer Science*, 786, 26–31 (in English).
8. Peng, Lu, Xujun, Peng, & Xiaojie, Wang. (2015). Towards aesthetics of image: A Bayesian framework for color harmony modeling: *Signal Processing: Image Communication*, 39, 487–498 (in English).
9. Leyuan, Wu, Xiaogang, Zhang, & Yicong, Zhou. (2020). Unsupervised quaternion model for blind colour image quality assessment: *Signal Processing*, 176 (in English).
10. Kovalskyi, B. M., Dudiak, V. O., Zanko, N. V., & Pysanchyn, N. S. (2018). Vzaiemozv'iazok osnovopolozhnykh poniat teorii koloru z kolorovidtvorenniam u suchasnykh tsyfrovyykh systemakh: *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1 (75), 19–30 (in Ukrainian).
11. Afanasiev, D. V., & Zorenko, Ya. V. (2019). Systematyzatsiia tekhnolohii stysnennia zobrazhen u system polihrafichnoho reprodukuвання: *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 1 (63), 45–57 (in Ukrainian).
12. Kovalskyi, B. M. (2020). Informatsiina tekhnolohiia koloropodilu zobrazhennia. Lviv : Ukr. akad. drukarstva, 36–58 (in Ukrainian).
13. Petrova, K., Zelenyi, O., & Deineko, Zh. (2022). Peredumovy vrakhuvannia kolirnoho prostoru pry vybori tekhnolohii dlia obrobky zobrazhen. *Polihrafichni, multymediini ta web-tekhnolohii. KhNURE*, 74–75 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-65-72

USING VIRTUAL METRICS FOR ASSESSING THE QUALITY OF COLOR IMAGES

V. P. Tkachenko¹, A. S. Gordeev²

¹*Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine*

²*Kharkiv National University of Economics named after S. Kuznets,
9-A, Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
volodymyr.tkachenko@nure.ua
gordeew@ukr.net*

The problem of using virtual metrics to assess the quality of color images is considered. When working with images, the problem of assessing the quality of a graphic object arises. Currently, the most common methods for assessing quality are comparing the current image with a reference sample. The degree of closeness, and therefore the degree of quality, can be, for example, the standard deviation or the correlation coefficient. Despite the simplicity and efficiency of this approach, in practice it is not always possible to use it due to the lack of a reference image. Quality control of a compressed image is a complex and controversial process. Traditional image property analysis features include PSNR and MSE metrics, as well as structural features (SSIM) and multi-scale MSSIM. The optimal values of the metric indicators corresponding to the images with the best sharpness are determined – the same as in the case of visual expert evaluation. The considered metrics are based on the assessment of image sharpness. In the course of experiments and analysis of more than 100 JPEG-compressed photorealistic images with different detail, the standard deviation MFSDmin ≈ 0.5 is obtained, at which distortions become hardly noticeable to the eye. The proposed approach is advisable to use for a preliminary assessment of the quality of the resulting image at the stage of preparation for printing. The PSNR metrics contain characteristics that are estimated based on the contrast sensitivity properties of vision. During subsequent printing of experimental samples, the boundaries of broken lines are smoothed compared to the original file: on the one hand, when printing, the width of the lines increases (in the direction of printing), on the other hand, ink leakage smooths out the roughness of the line boundaries.

Keywords: *visual metrics, quality, contrast, difference, color images, decomposition.*

Стаття надійшла до редакції 26.04.2023.

Received 26.04.2023.