



УДК 004.02

І. М. Журавель, В. Р. Онишко, Ю. І. Журавель, Х. А. Амброзьяк

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ
НА ОСНОВІ ЗАКОНІВ ЗОРОВОГО СПРИЙНЯТТЯ ЛЮДИНИ

Досліджено наявні методи кількісного оцінювання візуальної якості цифрових зображень. Варто виділити основні недоліки досліджених методів. Більшість із них потребують наявності еталонного зображення, не враховують усі складові, які впливають на візуальну якість, та не беруть до уваги закони зорового сприйняття людини. Це призвело до необхідності розроблення методу кількісного оцінювання візуальної якості зображень, який працюватиме без еталонного зображення і враховуватиме закони зорового сприйняття людини. Проаналізовано основні закони зорового сприйняття людини, які використано під час розроблення методу. Запропоновано класифікацію досліджуваних методів кількісного оцінювання якості зображень для структуризації їхнього аналізу. У роботі досліджено методи кількісного оцінювання якості на основі статистичного аналізу інтенсивностей пікселів зображення. Описано фактори, які впливають на якість зображень, та способи їх відстеження за змінами на гістограмі розподілу інтенсивностей пікселів. Запропоновано узагальнений вираз кількісної оцінки якості на основі моментних функцій. Результатом дослідження є розроблення методу кількісної оцінки візуальної якості зображень, який не потребує еталонного зображення та ґрунтується на законах зорового сприйняття людини. Цей метод протестовано на зображеннях, оброблених методом підсилення локальних контрастів та методом низькочастотної фільтрації. Результати тестування показали, що візуальне сприйняття якості зображення збігається із кількісною оцінкою його якості. Закладено основи для використання запропонованого методу із певними модифікаціями для кольорових зображень. Одним із можливих напрямів розвитку запропонованого методу є його адаптація для оцінювання зображень зі спотвореннями, спричиненими наявністю шумів.

Ключові слова: оброблення цифрових зображень, гістограма розподілу інтенсивностей пікселів, нормальний закон розподілу, моментні функції.

Вступ / Introduction

У сучасному світі чимало інформації подають за допомогою графічних образів. Людина за допомогою зору сприймає зображення та підсвідомо оцінює їхню візуальну якість. На основі цієї оцінки формується висновок про те, наскільки придатне зображення для подальшого аналізу чи розпізнавання та наскільки точними будуть рішення, прийняті на його основі. Таке оцінювання є, здебільшого, якісним та непридатне для застосування в автоматизованих чи автоматичних системах опрацювання, аналізу та розпізнавання цифрових зображень. Приклади – системи поліпшення зображень, автоматичного фокусування, безконтактних дистанційних вимірювань тощо.

Тому актуальним є завдання розроблення методу кількісного оцінювання якості зображень. Практика показує, що кожна із наведених вище систем опрацювання, аналізу та розпізнавання потребуватиме налаштування розроблюваного методу під конкретний клас зображень, але базові елементи є спільними.

У статті досліджено цифрові зображення. Файловий формат їх подання не матиме принципового значення, оскільки опрацюванню підлягатиме лише матриця інтенсивностей пікселів зображення.

Об'єкт дослідження – процеси кількісного оцінювання візуальної якості цифрових зображень.

Предмет дослідження – методи кількісного оцінювання якості цифрових зображень з урахуванням законів зорового сприйняття людини.

Мета роботи – запропонувати метод для кількісного оцінювання візуальної якості цифрових зображень, який би враховував закони зорового сприйняття людини та не потребував наявності еталона.

Для досягнення цієї мети визначено такі основні *завдання дослідження*:

- узагальнити відомі методологічні підходи до визначення кількісної оцінки візуальної якості цифрових зображень;
- встановити основні фактори, що впливають на якість цифрових зображень;

- розробити метод, який на основі моментних функцій обчислює кількісну оцінку візуальної якості цифрових зображень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі досліджено відомі підходи до побудови методів кількісного оцінювання якості цифрових зображень.

Багато робіт з оцінювання якості зображень ґрунтуються на статистичному аналізі значень інтенсивностей зображення, обчисленні середньоквадратичної похибки, норми Мінковського, відношення сигнал / шум тощо [1].

Перевагою цих методів є їх порівняно низька обчислювальна складність, що дає можливість опрацювати великі масиви графічних даних в режимі реального часу. Спільний недолік цих робіт: описані вище методи не враховують усіх складових якості зображення та властивостей зорового сприйняття зображень людиною, потребують наявності еталонного зображення. Ще один недолік полягає у тому, що ці методи не адаптовані до оцінювання якості повноколірних зображень.

Подальший розвиток методів оцінювання якості зображень відбувався в напрямі розширення інших складових якості зображень та врахування особливостей їх сприйняття людиною. У [2] модифіковано метод обчислення оцінки якості зображень, в якому для аналізу використовуються середньоквадратична помилка значень інтенсивностей пікселів та індекс структурної подібності елементів зображення. Модифікація полягає у розширенні параметрів оцінювання, а саме запропоновано використовувати пікове співвідношення сигнал / шум, багатопараметричний та інформаційно-зважений індекс структурної подібності, градієнт відхилення подібності, індекс подібності ознак, предиктор видимих відмінностей у широкому динамічному діапазоні, що дало можливість підвищити ефективність методу оцінювання візуальної якості загалом. Особливістю цього методу є те, що вибір параметрів для оцінювання здійснюють інтерактивно, щоб максимально адаптувати його до предметної області та класу зображень.

Відомий метод кількісного оцінювання якості цифрового зображення обличчя на основі надійного та точного розпізнавання [4]. У цій роботі запропоновано новий метод CR-FIQA, який оцінює якість зображення зразка обличчя, навчаючись прогнозувати його відносну класифікованість. Ця здатність до класифікації вимірюється на основі розміщення подання ознак навчальної вибірки в просторі відносно центра класу та найближчого відмінного центра класу. В роботі експериментально проілюстровано кореляцію між якістю зображення обличчя та відносною класифікованістю вибірки.

У роботі [5] оцінка якості зображення є ключовим фактором для швидкого розвитку алгоритмів відновлення зображення. Найновіші методи відновлення зображень, які ґрунтуються на генеративних змагальних мережах, досягли істотного покращення візуальної продуктивності, але методи кількісного оцінювання візуальної якості не завжди можуть надати адекватну оцінку таких зображень. Зростає невідповідність між якістю сприйняття та результатами оцінювання. Виконані експерименти засвідчили, що наявні методи не

можуть адекватно оцінити зображення, відновлені на основі генеративних змагальних мереж, та потребують істотного оновлення.

Досліджено метод оцінювання візуальної якості зображення із використанням нейронної мережі [6]. У роботі використано передбачення типу та ступеня спотворень як допоміжні опції під час дослідження функцій із набору даних зображень, що містять суміш синтетичних і реалістичних спотворень. Здійснені у роботі експериментальні дослідження показали, що запропонований алгоритм є конкурентним порівняно з аналогами, демонструє добру повторюваність результатів та ефективний для оцінювання зображень, які містять синтетичні чи природні спотворення.

Розвиток комп'ютерної та цифрової техніки привів до істотного зростання роздільної здатності зображень, які формуються різноманітними фотофіксувальними пристроями та циркулюють в інтернет-мережах. У [7] розроблено модель візуальної якості зображень, яка застосовуватиметься для їх моніторингу та аналізу. Результати роботи за запропонованою моделлю добре узгоджуються із експертними оцінками. Окрім цього, у роботі [7] запропоновано універсальну стратегію навчання, яку можна використовувати для вдосконалення наявних моделей оцінювання якості візуального сприйняття зображень.

Завдяки останнім досягненням у розвитку цифрової техніки та технологій захоплення, зберігання, передавання та візуалізації споживачі вимагають покращеної якості сприйняття, водночас зменшеного обсягу пам'яті. У цьому контексті дослідження та інновації у стисненні зображень із втратами спрямовані на методи, здатні досягти високих коефіцієнтів стиснення зображень без погіршення їх візуальної якості. Незважаючи на те, що сфера стиснення зображень постійно розвивається в напрямі ефективних рішень для поліпшення візуальної якості, стандартизовані протоколи оцінювання візуальної якості все ще обмежуються тими, що запропоновано в ITU-R BT.500 і стандартах JPEG AIC. Кількість комплексних і глибоких досліджень, у яких порівнюють різні протоколи, поки що недостатня. Це підкреслює потребу в нових надійних методологіях оцінювання якості зображення [8].

Доволі часто метод оцінювання візуальної якості зображення розробляють в контексті вирішення деякого завдання. У роботі [9] досліджено використання візуальних метрик для аналізу стиснення із втратами зашумлених зображень. Завдання полягало в аналізованні для набору зображень різної складності, спотворених адитивним білим гауссівським шумом із різними значеннями дисперсії. Після цього будували та аналізували залежності для візуальних метрик якості зображень і надавали рекомендації щодо вибору параметрів для стиснення в околі робочої точки.

Зображення, зазвичай, переглядають і аналізують люди, тому під час оцінювання якості зображення та ефективності його опрацювання необхідно враховувати особливості зору людини. У роботі [10] наведено карти помітності, а також карти пріоритетів і значень. Останнім часом роблять спроби урахувати закони зорового сприй-

няття в аналізі й опрацюванні зображень. Основним предметом цієї роботи є фактори, які впливають на ці карти пріоритетів і значень і визначають їх. Серед таких факторів – особливості низького рівня, а також соціальні та психологічні, такі як емоції, вік і життєві цінності. У роботі наведено короткий огляд цих факторів і використання карт вже тепер для оцінювання якості зображення. У статті визначено пріоритетні фактори, які впливають на карти помітності та дають змогу встановити, якого покращення можна досягти завдяки врахуванню карт під час оцінювання візуальної якості зображення з шумами та у разі стискання із втратами. Основним результатом є те, що з урахуванням карт помітності оцінюється візуальна якість зображення. Використовуючи різні кількісні критерії, дослідники показали, які позитивні результати може забезпечити введення карт в оцінку візуальної якості зображень.

Як свідчить аналіз відомих методів кількісного оцінювання візуальної якості, більшість досліджених підходів потребують наявності еталонного зображення для порівняння, що не завжди можливо під час їх практичного застосування.

Ще одним важливим моментом є те, що розвиток методів кількісного оцінювання візуальної якості неможливий без урахування законів зорового сприйняття, оскільки людина здебільшого є кінцевим споживачем візуальної інформації. Отже, що більше інформація на зображенні відповідає властивостям зорової системи сприйняття, то вища ймовірність правильного прийняття рішення під час аналізу зображення. Для цього розглянемо основні закони зорового сприйняття [11]:

- закон контрастного сприйняття світла;
- закон формування рівня адаптації;
- закон зорового сприйняття сюжетного зображення;
- закон константності зорового сприйняття;
- закон екстремальності зорового сприйняття інформації.

Під час розроблення методів контрастування зображень здебільшого застосовують перші три закони.

У законі контрастного сприйняття світла експериментально встановлено, що сприйняття світла людиною описується S -подібною залежністю сигналу реакції U від логарифма зовнішньої світлової дії (рис. 1).

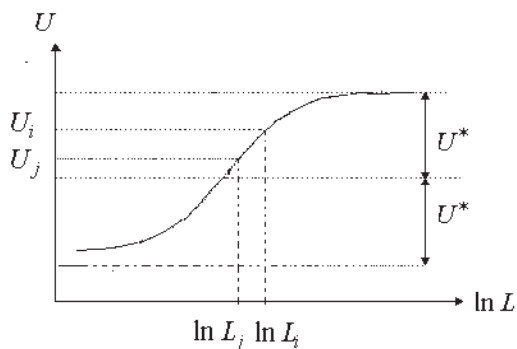


Рис. 1. S -подібна залежність сигналу реакції U від логарифма зовнішньої світлової дії / S -shaped dependence of the response signal U on the logarithm of the external light effect

Формула узагальненого контрасту, визначена на основі S -подібної залежності, збігається з одним із прийнятих виразів для контрасту

$$\sigma_{0j} = \frac{L_j^{2\gamma} - L_0^{2\gamma}}{L_j^{2\gamma} + L_0^{2\gamma}}, \quad (1)$$

де σ_{0j} – нормований сигнал відчуття; L_0, L_j – значення інтенсивностей; γ – параметр, що характеризує фізіологічні властивості конкретного об'єкта.

Закон формування рівня адаптації стверджує, що під час сприйняття сюжетного зображення зорова система людини виконує сканування, унаслідок чого на неї діє потік світла від усіх елементів зображення. Цей потік формує усереднену освітленість на сітківці ока, яка пропорційна до усередненої інтенсивності.

Третій закон – закон зорового сприйняття сюжетного зображення.

Нехай маємо три рівні інтенсивностей – L_i, L_j, L_0 . Контрасти для кожної пари набору, згідно з (1), визначаються виразами

$$\sigma_{0i} = \frac{L_i^{2\gamma} - L_0^{2\gamma}}{L_i^{2\gamma} + L_0^{2\gamma}}, \sigma_{0j} = \frac{L_j^{2\gamma} - L_0^{2\gamma}}{L_j^{2\gamma} + L_0^{2\gamma}}. \quad (2)$$

Контраст, який сприймає око, оглядаючи таке двоелементне зображення, можна знайти за правилом додавання контрастів

$$\sigma_{ij0} = \frac{\sigma_{i0} + \sigma_{j0}}{1 + \sigma_{i0}\sigma_{j0}}, \quad (3)$$

або, якщо $2\gamma = 1$, отримаємо

$$\sigma = \frac{(L_i/L_0) \cdot (L_j/L_0) - 1}{(L_i/L_0) \cdot (L_j/L_0) + 1}. \quad (4)$$

Формула закону симетрична відносно координат i та j . Тому можна зробити висновок, що у сприйнятті контрасту зоровий механізм просторової орієнтації участі не бере [11].

Матеріали та методи дослідження. Аналіз відомих підходів [2, 4–7] показав, що не існує універсальних методів оцінювання якості зображення. Це пояснюється різноманітністю класів зображень та складністю і особливостями їх семантичного наповнення. Тому, розробляючи методи оцінювання якості зображень, необхідно враховувати сферу їх застосування.

Загальноприйнятої класифікації не існує, але для структуризації аналізу досліджуваних методів у цій роботі запропоновано їх класифікацію, наведену на рис. 2.

Методи оцінювання якості на основі експертних оцінок є суб'єктивними, тому в цій роботі їх не розглядатимемо, дослідимо лише методи кількісного оцінювання якості на основі статистичного аналізу інтенсивностей пікселів зображення.

Ще однією принциповою вимогою до розроблюваного методу є відсутність еталонного зображення. Оскільки під час розв'язування більшості практичних задач еталонне зображення відсутнє, такий підхід до розроблення методів оцінювання якості є найраціональнішим.



Рис. 2. Класифікація методів кількісного оцінювання якості цифрових зображень / Classification of methods of quantitative assessment of the quality of digital images



Рис. 3. Приклад реалістичного фотографічного зображення / An example of a realistic photographic image

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

На основі наведеного вище аналізу відомих методів можна сформулювати дефініцію терміна *якість графічних даних*. Поняття якості є комплексним, оскільки описує різні аспекти апаратного формування та програмного опрацювання зображення – контрастність, динамічний діапазон, колірність, шум, роздільну здатність тощо. Розробляючи метод оцінювання, необхідно враховувати прикладні особливості його застосування, а саме в яких системах та для вирішення яких завдань він застосовуватиметься. Пояснюється це тим, що під час вирішення різноманітних практичних завдань різні параметри якості матимуть відповідні ваги. Наприклад, у задачах дистанційних вимірювань важлива роздільна здатність зображення, яка впливатиме на точність, у задачах розпізнавання – освітленість та колірний діапазон, які впливатимуть на локалізацію контурів об'єкта.

Отже, складові чинники методу оцінювання якості зображення визначатимуться великою мірою прикладними задачами, для розв'язування яких їх застосовуватимуть.

У цій роботі досліджено та розроблено метод кількісного оцінювання якості зображень, який застосовуватиметься у системах оброблення реалістичних фотографічних зображень. Приклад такого зображення наведено на рис. 3.

Реалістичні фотографічні зображення формуються багатьма сучасними цифровими фотофіксувальними пристроями. Цей клас зображень доволі поширений. Найпоширенішими недоліками таких зображень є те, що вони можуть бути засвітленими чи затемненими (рис. 4), використовувати не всі значення із динамічного діапазону інтенсивностей (рис. 5), певні значення інтенсивностей можуть переважати над іншими тощо.

Для напівтонових зображень описані недоліки можна відстежити за змінами на гістограмі розподілу інтенсивностей пікселів [1].

Через помилки в оцифруванні значення інтенсивностей можуть використовувати не весь динамічний діапазон, що істотно погіршує їх якість (рис. 5).

Ще одним поширеним типом спотворень є випадок, коли не усі значення з динамічного діапазону використовуються для відображення інтенсивностей на зображенні (рис. 6).

З рис. 4–6 видно, що наведені типи спотворень інтенсивностей пікселів на зображенні однозначно помітні на їх гистограмах. Природно, що найзручніше та найточніше виконувати аналіз за наявності еталонного зображення з таким самим семантичним наповненням. Проте переважно еталонного зображення немає. Тому доцільно для оцінювання застосовувати непрямі ознаки, які свідчатимуть про те, наскільки досліджуване зображення відрізняється від його еталонного подання.

Метод кількісного оцінювання візуальної якості зображення. У роботі застосуємо ймовірнісну модель цифрового зображення, згідно із якою значення інтенсивності кожного пікселя подається випадковою величиною. З теорії ймовірностей і з центральної граничної теореми, зокрема, відомо, що сума незалежних, однако-во розподілених випадкових величин підпорядкована нормальному закону розподілу. Отже, є підстави вважати, що для природних фотографічних зображень інтенсивність пікселів може підпорядковуватися нормальному закону розподілу.

Зважаючи на це, розглядатимемо зображення як набір інтенсивностей його елементів. Якщо їх вважати випадковими та незалежними, тоді, у випадку дискретних вибірок, можна побудувати гистограму $H(L)$ розпо-

ділу інтенсивностей елементів зображення $L(I,j)$. Найповніше особливості гистограми $H(L)$, а отже, і матриці інтенсивностей елементів зображення L , можна описати за допомогою числових характеристик. Найчастіше такими характеристиками слугують моменти. Відхилення гистограми від нормального закону розподілу свідчатиме про погіршення візуальної якості зображення.

Отже, для кількісного оцінювання відхилень гистограми від нормального закону розподілу використаємо моментні функції різних порядків

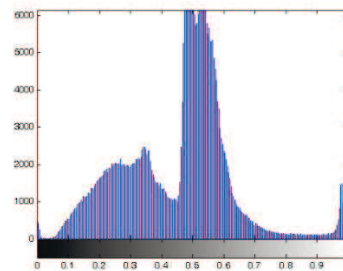
$$M[(L - A)^s] = \frac{1}{LMAX^s} \sum_{L=0}^{LMAX} (L - A)^s H(L), \quad (5)$$

де L – інтенсивність пікселів зображення; $H(L)$ – гистограма розподілу інтенсивностей елементів зображення; s – порядок моментів; A – величина, відносно якої визначається момент.

У розробленому методі визначення якості зображень обмежимося використанням моментів до четвертого порядку включно. Експериментально встановлено, що такої кількості достатньо для об'єктивної оцінки якості.



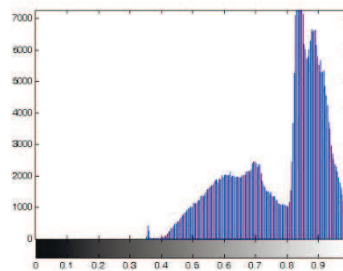
1



2



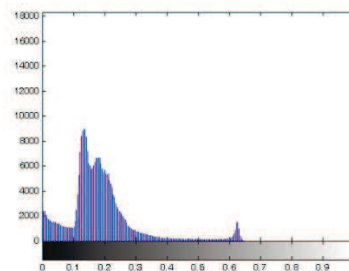
3



4



5

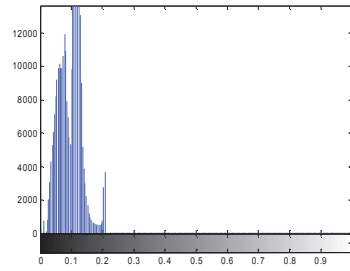


6

Рис. 4. Приклад напівтонового зображення (а) та зображень із засвітленими (3) та затемненими (5) ділянками та відповідні їм гистограми розподілу інтенсивностей (2, 4, 6) / An example of a half-tone image (a) and images with lighted (3) and darkened (5) areas and their corresponding intensity distribution histograms (2, 4, 6)



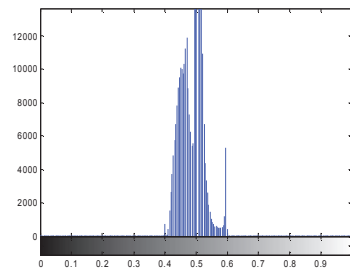
1



2



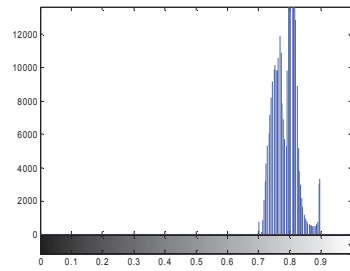
3



4



5



6

Рис. 5. Приклади зображень (1, 2, 3) із вузьким діапазоном інтенсивностей та відповідні їм гістограми (2, 4, 6) / Examples of images (1, 2, 3) with a narrow range of intensities and their corresponding histograms (2, 4, 6)

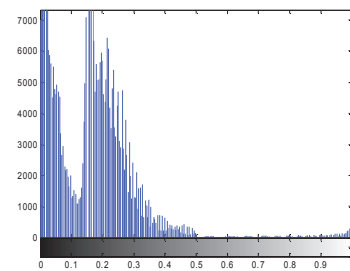
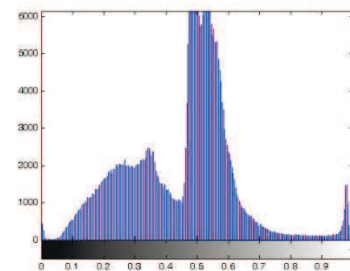


Рис. 6. Приклад зображення, на якому певні значення інтенсивностей переважають над іншими / An example of an image in which certain values of intensities prevail over others

Оскільки оптимальною з погляду зорового сприйняття є середня частина діапазону інтенсивностей, логічно шукати моменти щодо її значення. З урахуванням сказаного вище $A = LMAX/2$, де $LMAX = 255$.

Проаналізуємо моменти гістограми розподілу інтенсивностей елементів зображення з погляду їхньої фізичної суті.

Момент нульового порядку завжди дорівнює одиниці й не має жодного інформаційного навантаження:

$$M[(L - A)] = \sum_{L=0}^{LMAX} (L - A)^0 H(L) \equiv 1. \quad (6)$$

Перший момент знайдемо за виразом

$$M[(L - A)] = \frac{1}{LMAX} \sum_{L=0}^{LMAX} (L - A) H(L). \quad (7)$$

Він, як і третій момент, характеризує симетричність розподілу інтенсивностей елементів зображення. Якщо розподіл симетричний, значення цих моментів прямує до нуля. Третій момент використовують для визначення “коефіцієнта асиметрії”

$$Sk = \frac{M[(L - A)^3]}{(\sqrt{M[(L - A)^2]})^3}. \quad (8)$$

Момент другого порядку характеризує розкид значень випадкових величин, у цьому випадку інтенсивностей, за їх математичним очікуванням

$$M[(L - A)^2] = \frac{1}{LMAX^2} \sum_{L=0}^{LMAX} (L - A)^2 H(L). \quad (9)$$

Для характеристики так званої похилості, інакше кажучи, гостроверхості або плосковершинності розподілу, призначений четвертий момент. Ці властивості розподілу описують за допомогою ексцесу

$$Ex = \frac{\mu_4}{\sigma_4} - 3. \quad (10)$$

Для нормального закону розподілу ексцес дорівнює нулю. Криві, гостріші порівняно з нормальною кривою, мають позитивний ексцес; плосковершинніші криві – негативний.

Перелічені вище моменти є окремими оцінками якості зображень. У роботі [3] ми запропонували узагальнене вираження кількісної оцінки якості на основі моментів:

$$Q_p = \frac{1}{|1+a|} \cdot \left(1 - \frac{1}{1+b}\right) \cdot \frac{1}{1+c} \cdot \frac{1}{1+d}, \quad (11)$$

$$i \quad Q_s = \frac{1}{|1+a|} + \left(1 - \frac{1}{1+b}\right) + \frac{1}{1+c} + \frac{1}{1+d}, \quad (12)$$

де $a = M[(L - \frac{R}{2})]$; $b = M[(L - \frac{R}{2})^2]$;

$$c = \frac{M[(L - \frac{R}{2})^3]}{(\sqrt{M[(L - \frac{R}{2})^2]})^3}; \quad d = \frac{M[(L - \frac{R}{2})^4]}{(\sqrt{M[(L - \frac{R}{2})^2]})^4} - 3.$$

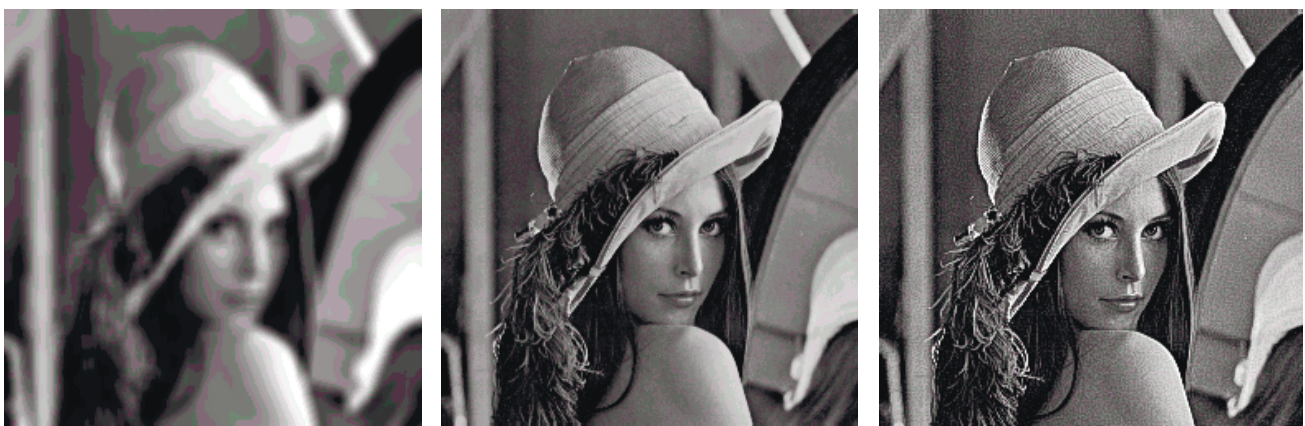
На основі гістограми зручно аналізувати тип спотворень.

Обговорення результатів дослідження. Щоб протестувати метод, ми обробили те саме зображення методом підсилення локальних контрастів (наприклад, методом Гордона із розмірами сторін апертур $n = 3$, $m = 1$ і $C^* = C^{0.7}$) та методом низькочастотної фільтрації (ковзне усереднення із $m = n = 9$). У результаті отримано серію зображень – спотворене, вхідне та поліпшене, які відповідно повинні мати найнижчу, середню та найвищу кількісні оцінки якості.

Для кожного із зображень на рис. 7 сформовано гістограму розподілу інтенсивностей $H(L)$, яку надалі застосовано для обчислення моментів за виразом (5). Числові значення моментів є частковими оцінками, які формують узагальнену кількісну оцінку візуальної якості зображення за виразами (11)–(12).

На рис. 7 наведено результати експериментальних досліджень та відповідні їм кількісні оцінки якості для зображення із поданням 8 біт на елемент.

Результати тестування методу показали, що розмите зображення (рис. 7, а) має мінімальну оцінку якості, а максимальну оцінку – зображення, оброблене методом поліпшення (рис. 7, в). Кількісна оцінка зображень добре корелює з їх візуальним сприйняттям.



$$a - Q_p = 0,0097, \\ Q_s = 1,9489$$

$$b - Q_p = 0,0124, \\ Q_s = 1,9772$$

$$v - Q_p = 0,0142, \\ Q_s = 2,0118$$

Рис. 7. Застосування методу кількісної оцінки якості зображень / Illustration of the application of the method of quantitative assessment of image quality

Зазначимо, що розроблений метод ніяк не пов’язаний із перетвореннями, яких зазнавало зображен-

ня. Вхідними даними для нього є лише зображення та гістограма розподілу інтенсивностей.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено метод, який на основі моментних функцій та врахування законів зорового сприйняття людини дає змогу кількісно оцінити візуальну якість цифрового зображення без необхідності порівняння з його еталонним представленням.

Практична значущість результатів дослідження – здійснено комп'ютерне моделювання методу кількісного оцінювання візуальної якості цифрових зображень та отримано результати, які добре корелюють із візуальним сприйняттям графічної інформації людиною. Істотною перевагою запропонованого підходу є те, що він не потребує еталонного зображення.

Запропонований метод можна використовувати на практиці для автоматичного наведення оптичного мікроскопа чи фотокамери на різкість через вибір зображення із найвищою оцінкою візуальної якості. Також розроблений метод застосовний для порівняння ефективності різних методів поліпшення цифрових зображень із порівнянням результатів їх опрацювання через якість візуального сприйняття.

Висновки / Conclusions

Запропоновано метод кількісного оцінювання візуальної якості цифрових зображень, який ґрунтується на аналізі гістограми розподілу із застосуванням моментних функцій та враховує закони зорового сприйняття зображень людиною.

До переваг запропонованого методу належить те, що він охоплює найважливіші складові візуальної якості, визначення яких узгоджено із ймовірнісною моделлю зображень. Ще одна перевага розробленого підходу – на відміну від більшості відомих методів, він не потребує еталонного зображення для порівняння.

Недоліком запропонованого методу є некоректне оцінювання якості зашумлених зображень. Цей недолік притаманний усім методам, які оцінюють якість зображення, використовуючи міру контрасту, оскільки методи оцінювання якості не забезпечують виявлення різких перепадів інтенсивностей, таких як шум чи висококонтрастна ділянка.

Модифікація запропонованого методу можлива через його адаптацію для кольорових зображень.

References

1. Воробель, Р. А., & Журавель, І. М. (2001). Кількісна оцінка якості зображень. У: Праці. IV Середньоевропейська конференція "Комп'ютерні методи та системи в автоматизації та еле-

- ктротехніці". Частина 1. Ченстохова, Польща, 17-18 вересня, 2001.
2. Mason, A., Rioux, J., Clarke, S. E., Costa, A., Schmidt, M., Keough, V., Huynh, T., & Beyea, S. (2020). Comparison of Objective Image Quality Metrics to Expert Radiologists' Scoring of Diagnostic Quality of MR Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(4). <https://doi.org/10.1109/tmi.2019.2930338>
3. Воробель, Р. А., Журавель, І. М., Опир, Н. В., Попов, Б. О., Дереча, В. Я., & Равлик, Я. М. (2000). Метод кількісної оцінки якості рентгенографічних зображень. У: Третя Українська науково-технічна конференція "Неурійнівний контроль та технічна діагностика – 2000", 233–236.
4. Boutros, F., Fang, M., Klemt, M., Fu, B., & Damer, N. (2023). CR-FIQA: Face Image Quality Assessment by Learning Sample Relative Classifiability. In: *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2023 (CVPR2023)*. <https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.00565>
5. Jinjin, G., Haoming, C., Haoyu, C., Xiaoxing, Y., Ren, J. S., Chao, D. (2020). PIPAL: A Large-Scale Image Quality Assessment Dataset for Perceptual Image Restoration. In: Vedaldi, A., Bischof, H., Brox, T., Frahm, J.M. (eds) *Computer Vision – ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12356. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58621-8_37
6. Madhusudana, P. C., Birkbeck, N., Wang, Y., Adsumilli, B., & Bovik, A. C. (2022). Image Quality Assessment Using Contrastive Learning. In: *IEEE Transactions on Image Processing*, 31, 4149–4161. <https://doi.org/10.1109/TIP.2022.3181496>
7. Zhang, W., Ma, K., Zhai, G., & Yang, X. (2021). Uncertainty-Aware Blind Image Quality Assessment in the Laboratory and Wild. In: *IEEE Transactions on Image Processing*, 30, 3474–3486. <https://doi.org/10.1109/TIP.2021.3061932>
8. Testolina, Michela, Lazzarotto, Davi, Rodrigues, Rafael, Mohammadi, Shima, Ascenso, João, Pinheiro, António M. G., & Ebrahimi, Touradj (2023). On the Performance of Subjective Visual Quality Assessment Protocols for Nearly Visually Lossless Image Compression. *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Multimedia*, October 2023, 6715–6723. <https://doi.org/10.1145/3581783.3613835>
9. Коваленко, Б. В., & Лукін, В. В. (2021). Використання візуальних метрик для аналізу стиснення з втратами зашумлених зображень. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 6, 83–91. <https://doi.org/10.32620/akt.2021.6.09>
10. Lukin, V., Bataeva, E., & Abramov, S. (2023). Saliency map in image visual quality assessment and processing. *Radioelectronic and Computer Systems*, 1(105), 112–121. <https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.09>
11. Журавель, І. М. (2001). Локально-адаптивні методи підвищення контрастності зображень: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06. НАН України. Держ. НДІ інформ. інфраструктури. Л., 19 с.

I. M. Zhuravel, V. R. Onyshko, Yu. I. Zhuravel, K. A. Ambroziak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE VISUAL QUALITY OF DIGITAL IMAGES BASED ON THE LAWS OF HUMAN VISUAL PERCEPTION

The existing methods of quantitative assessment of the visual quality of digital images are studied. Among the main shortcomings of the studied methods, the following can be singled out. Most of them require a reference image, do not include all the components that affect visual quality and do not take into consideration the laws of human visual perception. It was decided to develop a method for quantitative assessment of the visual quality of images, which will work without a reference image and will take into account the regularities of human visual perception. There are characterized the main regularities of human visual perception, which are used in the development of the technique. A classification of the researched methods of quantitative assessment of image quality is proposed for structuring their analysis. It was decided to investigate methods of quantitative assessment of quality based on statistical analysis of image pixel intensities. There are

described factors affecting the quality of images and methods of their control based on changes in the pixel intensity distribution histogram. A generalized expression of quantitative quality assessment based on moments is proposed. A methodology for quantitative assessment of the visual quality of images has been developed, which does not require a reference image and is based on the laws of human visual perception. This method was tested on an image processed by local contrast enhancement and low-pass filtering. The test results showed that the visual perception of image quality coincides with the quantitative assessment of its quality. It is possible to use the proposed method with some modifications to determine the quality of color images. Moreover, a potential avenue for advancing the proposed method involves adapting it for evaluating images afflicted by distortions induced by noise presence.

Keywords: digital image processing, histogram of distribution of pixel intensities, normal distribution law, moment functions.

Інформація про авторів:

Журавель Ігор Михайлович, д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій. **Email:** bit.dept@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1114-0124>

Онишко Володимир Романович, аспірант кафедри безпеки інформаційних технологій. **Email:** volodymyr.r.onyshko@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0004-2794-7410>

Журавель Юрій Ігорович, студент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій. **Email:** yurii.zhuravel.mivmv.2023@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-4988-4134>

Амброзяк Христина Андріївна, інженер кафедри безпеки інформаційних технологій. **Email:** ambrozyak20@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-3152-5562>

Цитування за ДСТУ: Журавель І. М., Онишко В. Р., Журавель Ю. І., Амброзяк Х. А. Кількісне оцінювання візуальної якості цифрових зображень на основі законів зорового сприйняття людини. *Український журнал інформаційних технологій*. 2024, т. 6, № 1. С. 17–25.

Citation APA: Zhuravel, I. M., Onyshko, V. R., Zhuravel, Yu. I., & Ambroziak, K. A. (2024). Quantitative assessment of the visual quality of digital images based on the laws of human visual perception. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 6(1), 17–25. <https://doi.org/10.23939/ujit2024.01.017>