

**ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНОГО КОНТРАСТУ
ДЛЯ ПОБУДОВИ РІЗНИЦЕВИХ МЕТОДІВ
ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ**

The analysis of known approaches to image quality enhancement through local contrast amplification is carried out. Additive and multiplicative image models are used. These models get out from local contrast definition. It is shown that method for unsharp masking concludes from the absolute local contrast enhancement method. General difference methods for image quality enhancement by amplification of different type local contrast are proposed.

Keywords: *additive image model, multiplicative image model, unsharp masking, difference methods, image enhancement.*

Проведено аналіз відомих методів поліпшення якості зображень через підсилення локальних контрастів. Використано адитивну та мультиплікативну моделі зображення. Ці моделі випливають з описів відповідних локальних контрастів. Простежено, що метод нерізкого маскування випливає з методу підсилення абсолютного локального контрасту. Запропоновано узагальнені різницеві методи поліпшення якості зображень через підсилення локальних контрастів різних типів.

Ключові слова: *адитивна модель зображення, мультиплікативна модель зображення, нерізде маскування, різницеві методи, покращання зображень.*

Однією з проблем в опрацюванні зображень є поліпшення їх якості. Зазвичай під поліпшенням якості розуміють різні задачі, а саме: усунення геометричних (чи перспективних) спотворень, зниження впливу шуму, підвищення роздільної здатності, підсилення контрасту зображення. Саме останній з перелічених задач присвячена ця робота. Підвищення якості зображення через підсилення (ослаблення або зміну) контрасту переважно пов'язують із кращою розпізнаваністю людиною опрацьованого зображення. І тут слід виокремити фізичні основи такого трактування розуміння поліпшеного зображення.

Підґрунтям цього є підсилення в опрацьованому зображенні просторових високочастотних складових. Саме вони забезпечують кращу розрізняваність через візуалізацію тих деталей зображення, які були візуально невидимі. Тобто поліпшене зображення характеризується підсиленими локальними контрастами, які в сукупності сприяють кращій деталізації кожної частини зображення. Звідси і напрошується природний трикроковий спосіб поліпшення якості зображення через підсилення локальних контрастів: обчислювальна процедура опрацювання цифрового зображення полягає у тому, що спочатку визначаємо локальний контраст, потім його підсилюємо, а на завершення відновлюємо поліпшене первинне зображення з підсиленими локальними контрастами.

Враховуючи викладене, метою роботи є побудова технологій конструювання різницевих методів поліпшення якості зображень, які базуються на використанні локальних контрастів. Будемо виходити з різних моделей зображення – адитивної та мультиплікативних [4], які побудовані з використанням теорії трикутних норм [7].

Використання адитивної моделі зображення. При побудові адитивної моделі зображення виходимо з того, що кожен його елемент $L(i, j) \in [0, M]$, де $M = 255$, формується як сума низькочастотної (фонової) складової $L_f(i, j)$ та високочастотної (детальної) складової $L_d(i, j)$ [1–3, 6]

$$L(i, j) = L_f(i, j) + L_d(i, j), \quad (1)$$

де складову $L_f(i, j)$ зазвичай визначають через оцінювання рівня сірого, найпростішим з яких є середнє арифметичне рівнів сірого елементів $\bar{L}(i, j)$, які належать локальному околу W з центральним елементом $L(i, j)$

$$L_f(i, j) = \bar{L}(i, j) = \text{mean}\{L(i, j)\}_{i, j \in W}. \quad (2)$$

Тоді високочастотну складову $L_d(i, j)$ з адитивної моделі можна визначити як

$$L_d(i, j) = L(i, j) - \bar{L}(i, j) = K_{abs}(i, j), \quad (3)$$

де різниця $L(i, j) - \bar{L}(i, j)$ є ненормованим абсолютним локальним контрастом $K_{abs}(i, j)$. На рис. 1 (тут і далі) подано графічне представлення модуля абсолютного контрасту $|C_{abs}(x, y)| = |K_{abs}(x, y)|$ для пронормованих величин $x = L/M$ та $y = \bar{L}/M$.

Якщо розглядати покращання зображення як підсилення локального контрасту (3), тобто

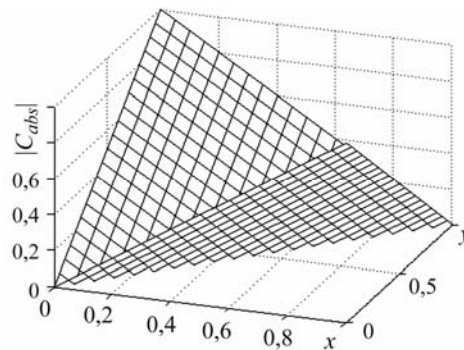


Рис. 1. Графічне подання модуля пронормованого абсолютного контрасту (3).

$$K^*(i, j) = k \cdot K_{abs}(i, j) = k(L(i, j) - \bar{L}(i, j)), \quad (4)$$

де $k > 1$, то з виразів (3) і (4) після підсилення локального контрасту отримуємо

$$K^*(i, j) = L^*(i, j) - \bar{L}(i, j),$$

звідки

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) + K^*(i, j) = \bar{L}(i, j) + k \cdot K_{abs}(i, j), \quad (5)$$

або, з урахуванням формули (4), з виразу (5) отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) + k(L(i, j) - \bar{L}(i, j)). \quad (6)$$

Формула (6) разом з виразом (5) добре ілюструє трикроковий метод поліпшення зображення через підсилення локальних контрастів і є класичним описом процедури нерізкого маскування [3, 8]. Наведені вирази (1)–(6) підтверджують ключову роль абсолютного контрасту у формуванні методу нерізкого маскування з адитивної моделі зображення.

Зазвичай контрастом називають кількісну відмінність двох частин поля зору, які видимі одночасно або послідовно [4]. Вище вже зазначалося, що в опрацюванні зображень з такою його характеристикою, як контраст візуально пов'язана деталізація зображення. Якщо зображення контрастне, тоді є можливість розрізнити його деталі. Якщо зображення неконтрастне – тоді важко візуально виокремити його деталі. При цьому прийнято вважати, згідно з законом Вебера–Фехнера сприйняття світла людиною, що при усталеному освітленні людина може розрізнити візуально об'єкти, що відрізняються між собою мінімум на 2% за яскравістю. Цей мінімальний контраст називають пороговим.

В цілому отриманий вираз (6) для методу нерізкого маскування засвідчує, що він безпосередньо впливає з формули визначення локального абсолютного

контрасту (3) та формує адитивну модель зображення як суму низькочастотної та високочастотної складових.

Використання мультиплікативної моделі зображення. Мультиплікативні моделі зображення будемо будувати виходячи з відповідних локальних контрастів, найуживанішим з яких є відносний та зважений контрасти. Розширимо множину аналітичних функцій контрастів через їх узагальнення та застосування інших їх видів.

Модель на базі відносного локального контрасту. При формуванні мультиплікативної моделі зображення будемо виходити з опису пронормованого відносного локального контрасту [1, 2, 4]

$$C_{rel}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{\max[L(i, j), \bar{L}(i, j)]}. \quad (7)$$

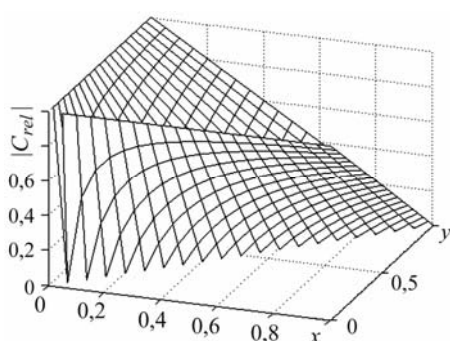


Рис. 2. Графічне подання модуля пронормованого відносного контрасту (7).

На рис. 2 подано графічне зображення модуля про нормованого відносного контрасту.

Для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_{rel}(i, j)$ до $C_{rel}^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

$$C_{rel}^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L^*(i, j)}, \quad (8)$$

звідки отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L} / (1 - C_{rel}^*(i, j)).$$

У випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot (1 - C_{rel}^*(i, j)). \quad (9)$$

Об'єднуючи вирази (8) та (9), матимемо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot (1 - C_{rel}^*(i, j))^{\text{sign}[\bar{L}(i, j) - L(i, j)]}. \quad (10)$$

Отриманий вираз (10) ілюструє мультиплікативну модель зображення. Зауважимо, що формула (7) відносного локального контрасту для загального випадку $L = x$ і $\bar{L} = y$ описується також виразом

$$|C_{t_a}| = 1 - t_a^{-1}(|t_a(y) - t_a(x)|), \quad (11)$$

де $x, y, u \in [0, 1]$, а $t_a(u) = -\ln(u)$ – це адитивний генератор алгебричної трикутної t -норми [4, 7].

Модель на базі зваженого локального контрасту. Зважений пронормований локальний контраст описується таким виразом [4]:

$$C_{wei}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L(i, j) + \bar{L}(i, j)}. \quad (12)$$

На рис. 3 подано графічне зображення модуля пронормованого зваженого контрасту.

Для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_{wei}(i, j)$ до $C_{wei}^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

$$C_{wei}^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L^*(i, j) + \bar{L}(i, j)},$$

звідки отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \frac{1 + C_{wei}^*(i, j)}{1 - C_{wei}^*(i, j)}. \quad (13)$$

Для випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \frac{1 - C_{wei}^*(i, j)}{1 + C_{wei}^*(i, j)}. \quad (14)$$

Об'єднуючи вирази (13) і (14), отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \left[\frac{1 + C_{wei}^*(i, j)}{1 - C_{wei}^*(i, j)} \right]^{\text{sign}[L(i, j) - \bar{L}(i, j)]}. \quad (15)$$

Цей вираз теж репрезентує мультиплікативну модель. Окрім цього, якщо підсилення контрасту вважати постійними і виходити з того, що

$$C^*(i, j) = k \cdot C(i, j),$$

де $k > 1$, то отримані вище вирази (10) та (15) можна записати в іншій формі, а саме:

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot [1 - k \cdot C_{rel}(i, j)]^{\text{sign}[\bar{L}(i, j) - L(i, j)]} \quad (16)$$

та

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \left[\frac{1 + k \cdot C_{wei}(i, j)}{1 - k \cdot C_{wei}(i, j)} \right]^{\text{sign}[L(i, j) - \bar{L}(i, j)]}. \quad (17)$$

Модель на базі узагальненого зваженого локального контрасту. Узагальнений зважений локальний контраст описується виразом [4]:

$$C_{gw}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j)) + \alpha \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))}, \quad (18)$$

Рис. 4. Графічне подання модуля пронормованого узагальненого зваженого контрасту (18), якщо $\alpha = -0,5$.

де $\alpha \in (-1, \infty)$. На рис. 4 подано графічне зображення модуля пронормованого узагальненого зваженого контрасту, якщо $\alpha = -0,5$.

Для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_{gw}(i, j)$ до $C_{gw}^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

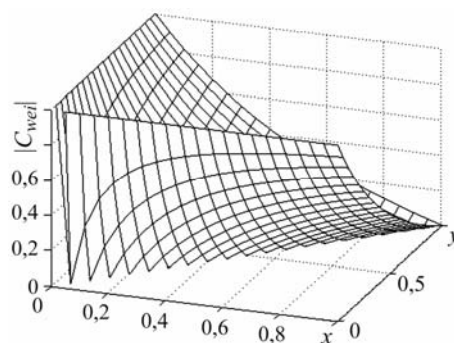
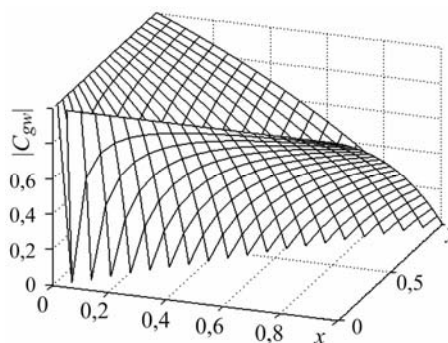


Рис. 3. Графічне подання модуля пронормованого зваженого контрасту (12).



$$C_{gw}^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L^*(i, j) + \alpha \bar{L}(i, j)},$$

звідки отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \frac{1 + \alpha C_{gw}^*(i, j)}{1 - \alpha C_{gw}^*(i, j)}. \quad (19)$$

Для випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \frac{1 - \alpha C_{gw}^*(i, j)}{1 + \alpha C_{gw}^*(i, j)}. \quad (20)$$

Об'єднавши вирази (19) та (20), отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \cdot \left[\frac{1 + \alpha C_{gw}^*(i, j)}{1 - \alpha C_{gw}^*(i, j)} \right]^{\text{sign}[L(i, j) - \bar{L}(i, j)]}. \quad (21)$$

Вираз (21) репрезентує також мультиплікативну модель зображення.

Модель на базі локального контрасту, отриманого адитивним генератором трикутної t -норми Гамахера. Нехай задано локальний контраст, отриманий адитивним генератором t -норми Гамахера [4]

$$t_a(u) = \frac{1-u}{u},$$

який описується виразом [4, 7]

$$C_H(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L(i, j)\bar{L}(i, j)/M + |L(i, j) - \bar{L}(i, j)|}. \quad (22)$$

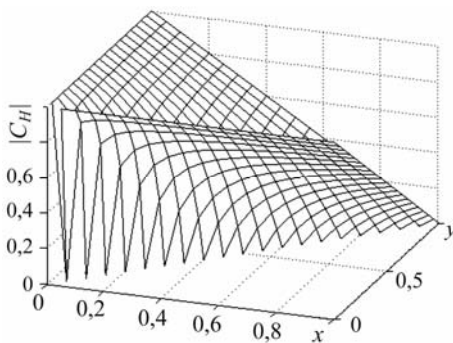


Рис. 5. Графічне подання модуля пронормованого локального контрасту (22).

На рис. 5 подано графічне зображення модуля пронормованого контрасту (22).

Для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_H(i, j)$ до $C_H^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

$$C_H^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M + L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)},$$

звідки

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 - C_H^*(i, j)}{1 - C_H^*(i, j)(1 + \bar{L}(i, j)/M)}. \quad (23)$$

Для випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 - C_H^*(i, j)}{1 - C_H^*(i, j)(1 - \bar{L}(i, j)/M)}. \quad (24)$$

Об'єднавши вирази (23) та (24), отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 - C_H^*(i, j)}{1 - C_H^*(i, j)(1 + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j))\bar{L}(i, j)/M)}. \quad (25)$$

Вираз (25) також репрезентує мультиплікативну модель зображення.

Модель на базі локального контрасту, отриманого адитивним генератором параметричної трикутної t -норми Гамахера. Нехай задано локальний контраст, отриманий адитивним генератором параметричної t -норми Гамахера за значення керуючого параметра $p = 2$

$$t_a(u) = \ln\left(\frac{2-u}{u}\right),$$

який описується виразом [4, 7]

$$C_{Ht2}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L(i, j) + \bar{L}(i, j) - L(i, j)\bar{L}(i, j)/M}. \quad (26)$$

На рис. 6 подано графічне зображення модуля пронормованого контрасту (26).

Тоді для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_{Ht2}(i, j)$ до $C_{Ht2}^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

$$C_{Ht2}^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L^*(i, j) + \bar{L}(i, j) - L^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M},$$

звідки

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 + C_{Ht2}^*(i, j)}{1 - C_{Ht2}^*(i, j)(1 - \bar{L}(i, j)/M)}. \quad (27)$$

Для випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 - C_{Ht2}^*(i, j)}{1 + C_{Ht2}^*(i, j)(1 - \bar{L}(i, j)/M)}. \quad (28)$$

Об'єднавши вирази (27) та (28), отримуємо

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) \frac{1 + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j))C_{Ht2}^*(i, j)}{1 - \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j))C_{Ht2}^*(i, j)(1 - \bar{L}(i, j)/M)}. \quad (29)$$

Вираз (29) також репрезентує мультиплікативну модель зображення.

Модель на базі локального контрасту, отриманого адитивним генератором параметричної трикутної s -норми Гамахера. Нехай $u \in [0, 1]$, а $L, \bar{L} \in [0, M]$ і задано локальний контраст, отриманий адитивним генератором параметричної s -норми Гамахера [4, 7] за значення керуючого параметра $p = 2$

$$s_a(u) = \ln\left(\frac{1+u}{1-u}\right), \quad (30)$$

який описується виразом [4, 9]

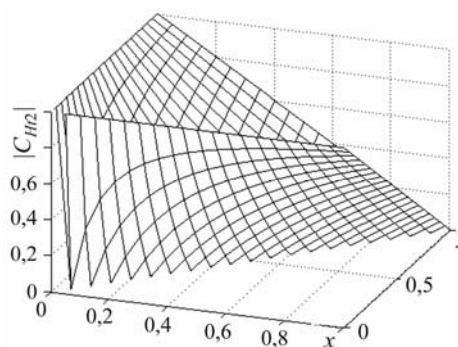


Рис. 6. Графічне подання модуля пронормованого локального контрасту (26).

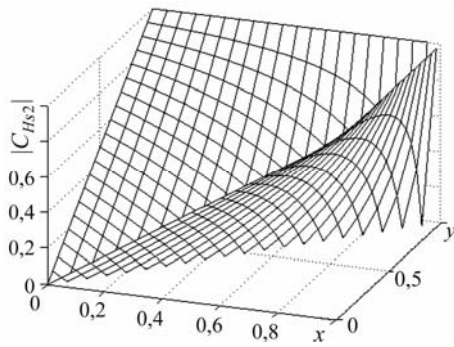


Рис. 7. Графічне подання модуля пронормованого локального контрасту (31).

$$C_{Hs2}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{1 - L(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2}. \quad (31)$$

На рис. 7 подано графічне зображення модуля пронормованого контрасту (31).

Тоді для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$ шляхом підсилення контрасту $C_{Hs2}(i, j)$ до $C_{Hs2}^*(i, j)$ можемо записати, що за умови $L(i, j) > \bar{L}(i, j)$

$$C_{Hs2}^*(i, j) = \frac{L^*(i, j) - \bar{L}(i, j)}{1 - L^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2},$$

звідки
$$L^*(i, j) = \frac{\bar{L}(i, j) + C_{Hs2}^*(i, j)}{1 + C_{Hs2}^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2}. \quad (32)$$

Для випадку ж $\bar{L}(i, j) > L(i, j)$ за аналогією можемо записати

$$L^*(i, j) = \frac{\bar{L}(i, j) - C_{Hs2}^*(i, j)}{1 - C_{Hs2}^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2}. \quad (33)$$

Об'єднавши вирази (32) та (33), отримуємо

$$L^*(i, j) = \frac{\bar{L}(i, j) + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j))C_{Hs2}^*(i, j)}{1 + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j))C_{Hs2}^*(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2}. \quad (34)$$

Вираз (34) репрезентує значно складнішу мультиплікативну модель зображення.

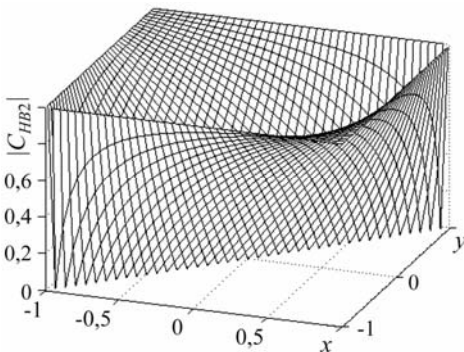


Рис. 8. Графічне подання модуля пронормованого локального контрасту (35).

Модель на базі локального контрасту як операції віднімання, отриманого з використанням адитивного генератора параметричної трикутної s-норми Гамахера. Нехай $u \in (-1, 1)$, а $L, \bar{L} \in (-M, M)$. Тоді можемо отримати локальний контраст як реалізацію операції віднімання алгебричної структури логарифмічного типу, беручи за основу той самий адитивний генератор параметричної s-норми Гамахера [4, 7] за значення керуючого параметра $p = 2$ (30). Ця функція на проміжку $(-1, 1)$ є непарною. Завдяки цьому отримуємо аналогічний до формули (31) вираз для

локального контрасту [4, 9]:

$$C_{HB2}(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{1 - L(i, j)\bar{L}(i, j)/M^2}. \quad (35)$$

На рис. 8 подано графічне зображення модуля пронормованого до інтервалу $(-M, M)$ контрасту (35).

Тоді для поліпшеного зображення $L^*(i, j)$, шляхом підсилення контрасту $C_{HB2}(i, j)$ до $C_{HB2}^*(i, j)$, за аналогією до (32)–(34), але з урахуванням виразу (35), можемо записати, що

$$L^*(i, j) = \frac{\bar{L}(i, j) + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) C_{HB2}^*(i, j)}{1 + \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) C_{HB2}^*(i, j) \bar{L}(i, j) / M^2}. \quad (36)$$

Вираз (36) наочно репрезентує значно складнішу мультиплікативну модель зображення, рівні сірого елементів якого задані на проміжку $(-M, M)$. Ще раз зазначимо, що вирази (34) і (36) тотожні. Однак їх суттєвою відмінністю є області визначення змінних $L(i, j)$ та $\bar{L}(i, j)$. Тотожність зумовлена особливістю функції-генератора $s_a(u)$ (30), яка є непарною функцією з областю визначення $[-1, 1]$, а тому область визначення $[0, 1]$ є її частиною. Завдяки цьому отримуємо нові властивості локального контрасту (35) порівняно з виразом (31).

ВИСНОВКИ

Наведені вище приклади адитивної та мультиплікативної моделей зображення засвідчують, що усі вони побудовані шляхом використання функцій визначення локального контрасту. Це відкриває шлях до побудови такого різницевого методу поліпшення якості зображень, який базується на найкращій з погляду точності моделювання алгебричній структурі та відображає фізичний процес сприйняття зображення людиною чи відповідним інтелектуальним сенсором. Оскільки кількість алгебричних структур, які можуть бути побудовані з використанням адитивних генераторів як строгих t -норм, так і строгих s -норм практично не обмежена, то виникає задача вибору оптимальної алгебричної структури для побудови алгоритмів покращання якості зображень. Ця задача ще чекає свого розв'язку.

1. Воробель Р. Конструювання різницевих методів поліпшення якості зображення // Пр. Двадцятій Всеукраїн. міжнар. конф. "Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. УкрОБРАЗ-2014". 3–7 листопада 2014 р. – К.: Вид-во УАсОІРО, 2014. – С. 39–42.
2. Воробель Р. А. Визначення аналітичних функцій контрасту на основі трикутної норми Гамахера // Відбір і обробка інформації. – 2008. – 28(104). – С. 103–109.
3. Воробель Р. А. Деякі підходи до побудови методів нерізкого маскуванню // Математические машины и системы. – 1998. – № 2. – С. 53–60.
4. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. – К.: Наук. думка, 2012. – 231 с.
5. Воробель Р. А. Локальний контраст як основа побудови методів підвищення якості зображень // Відбір і обробка інформації. – 2001. – 15(91). – С. 36–46.
6. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.
7. Alsina C., Frank M. J., Schweizer B. Associative Functions. Triangular Norms and Copulas. – Hackensack, London, Singapore: World Scientific. – 2006. – 237 p.
8. Narendra P. M., Fitch R. C. Real-Time Contrast Enhancement // IEEE Transactions on PAMI. – 1981. – № 6. – P. 655–661.
9. Pătrașcu V., Buzuloiu V. A Mathematical Model for Logarithmic Image Processing // 5th World Multi-Conf. on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI2001, July 22–25, 2001. – USA: Orlando. 13. – P. 117–122.