

Степеневе підсилення локальних контрастів зображення

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.080>

Роман Воробель

Відділ теорії хвильових процесів та оптичних методів діагностики
ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України
м. Львів, Україна
Department of Computer Science
University of Lodz
Lodz, Poland
roman.vorobel@gmail.com

Олена Берегуляк

Відділ теорії хвильових процесів та оптичних методів діагностики
ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України
м. Львів, Україна
olena.berehulyak@gmail.com

Ірина Івасенко

Відділ теорії хвильових процесів та оптичних методів діагностики
ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України
м. Львів, Україна
Кафедра програмного забезпечення
НУ «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна
ivasenko.iryana@gmail.com

Теодор Мандзій

Відділ теорії хвильових процесів та оптичних методів діагностики
ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України
м. Львів, Україна
teodor.mandziy@gmail.com

Анотація—Проведено аналіз моделей сприйняття світла людиною, які слугують основою побудови методів покращання якості зображень через підсилення їх локальних контрастів. Показано, що вираз для визначення локального контрасту є базою для побудови алгоритму покращання якості зображення. Виокремлено три види локального контрасту, зокрема абсолютний, відносний і зважений та проілюстровано технологію побудови методу підсилення якості зображення з їх використанням. Описано новий метод покращання якості зображення, який базується на степеневій залежності реакції зорової системи людини на світлове збудження та проведено експериментальне дослідження його ефективності.

Ключові слова—оброблення зображень, локальний контраст, степеневе підсилення, зорове сприйняття світла.

I. ВСТУП

Широке застосування роботизованих мобільних систем для промисловості, медицини, геології та побуту вимагає розроблення ефективних засобів підвищення якості зображень практично у реальному часі їх реєстрації. При цьому базовою складовою покращання якості зображень виступає підсилення їх локальних контрастів у просторовій області. Саме обробка зображень у просторовій області характеризується відносною простотою та швидкодією. Однак відомі методи підсилення локальних контрастів, які базуються на використанні абсолютного, відносного чи зваженого контрастів [1-2], не забезпечують рівномірності цього підсилення у широкому динамічному

діапазоні інтенсивностей зображень. Тому актуальним є розроблення методу підсилення локальних контрастів, який використовує степеневу модель сприйняття зображення, як засобу зорового збудження у широкому діапазоні його інтенсивностей.

II. ОСНОВНІ МОДЕЛІ СПРИЙНЯТТЯ СВІТЛОТИ ЛЮДИНОЮ

Реакція зорової системи на зміну інтенсивностей у широкому їх діапазоні є базовою складовою кількісного визначення зміни спостережуваних інтенсивностей. Основною залежністю тут [3] виступає логарифмічно-лінійна. Вона задовільно передбачає психофізичну реакцію людини на світлове збудження та описується виразом

$$I_{out}(x, y) = K_1 \ln [K_2 + K_3 I_{in}(x, y)], \quad (1)$$

де K_1, K_2, K_3 – це константи, а $I_{in}(x, y)$ та $I_{out}(x, y)$ – вхідний та вихідний сигнал відповідно. Відомі також і інші моделі [4], які описують реакцію виразом

$$I_{out}(x, y) = \frac{K_1 I_{in}(x, y)}{K_2 + I_{in}(x, y)}, \quad (2)$$

де K_1, K_2 – це сталі. У роботі [5] Маннос та Сакрісон вивчали різні нелінійності, які використовують в аналітичних мірах вірності відтворення зображень. Вони встановили, що степенева нелінійність

$$I_{out}(x, y) = [I_{in}(x, y)]^R, \quad (3)$$

де R – стала, забезпечує добре узгодження між обчисленою вірністю та суб'єктивною оцінкою якості зображення. В роботі [3] описані базові моменти сприйняття світла людиною. Зокрема, розглядається джерело білого світла L_1 , яке має яскравість Y і розташоване безпосередньо близько до другого джерела білого світла L_2 з тим самим спектром випромінювання та яскравістю $Y + \Delta Y$. Вимірювання контрастної чутливості показали [3], що відношення Вебера $\Delta Y/Y$, тобто відношення ледь помітної (порогової) різниці яскравостей до абсолютного значення яскравості Y , у достатньо широкому діапазоні значень Y , майже постійне і рівне 1-2%. На цій підставі можна стверджувати, що приріст світлоти другого джерела стосовно першого має визначатися логарифмічним виразом

$$\Delta\{L_1, L_2\} = \log_b(Y + \Delta Y) - \log_b(Y), \quad (4)$$

а не різницею яскравостей ΔY . Оскільки диференціал логарифма яскравостей рівний

$$d[\log_b(Y)] = \lim_{\Delta Y \rightarrow 0} [\log_b(Y + \Delta Y) - \log_b(Y)] = \log_b(e) \frac{dY}{Y}, \quad (5)$$

то приріст логарифма яскравості рівний відношенню Вебера (e – стала Ейлера). Маннос і Сакрісон [5] вивчали можливості зміни вірності відтворення одноколірних зображень за допомогою виразу (3). В цьому випадку мірою приросту світлоти стає величина

$$\Delta\{L_1, L_2\} = (Y + \Delta Y)^\nu - (Y)^\nu, \quad (6)$$

де ν – постійна. У роботі Корнвіта [5] було зроблено припущення про те, що відгук фоторецепторів сітківки ока описувався нелінійним законом (3). Тоді відповідна міра приросту світлоти обчислюється як

$$\Delta\{L_1, L_2\} = \frac{K_1(Y + \Delta Y)}{K_2 + (Y + \Delta Y)} - \frac{K_1 Y}{K_2 + Y}, \quad (7)$$

де K_1, K_2 – сталі.

Міри (4), (6) і (7) належать до локальних мір зміни світлоти. Часто використовують і глобальні міри, які служать для порівняння яскравостей сильно відмінних джерел світла. Такі міри були отримані на основі емпіричних моделей, побудованих на експериментальному матеріалі. Зокрема Пріст, Гібсон та Макніколс [6] запропонували просте співвідношення

$$\Lambda = Y^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

де яскравість змінюється у відсотках $0 \leq Y \leq 100$, а світлота змінюється від 0 до 10. Лед і Пінні [7] використовували шкалу з кубічним коренем

$$\Lambda = 2,468 \cdot Y^{\frac{1}{3}} - 1,636, \quad (9)$$

де яскравість також змінюється у відсотках. В доповнення до цих залежностей Фосс [8] ввів логарифмічну шкалу

$$\Lambda = \lg Y + 0,25. \quad (10)$$

Джад [9] ввів шкалу світлоти, яка враховувала фонове освітлення Y_B . В цьому випадку світлота визначалася виразом

$$\Lambda = \frac{0,1 \cdot Y(Y_B + 100)}{Y_B + Y}. \quad (11)$$

Водночас зазначимо, що емпірична шкала Джадда за своєю формою аналогічна співвідношенню (7), яке описує нелінійну модель відгуку фоторецепторів. Враховуючи описані вище моделі сприйняття світлоти людиною розглянемо степеневу модель. При цьому виходитимемо з того, що це буде двокомпонентна модель, яка за базові складові використовує низькочастотну та високочастотну складові. Тому на початку покажемо як аналітичний вираз локального контрасту слугує побудові методу покращання якості зображення.

III. ВИБРАНІ МЕТОДИ ПОКРАЩАННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ПІДСИЛЕННЯМ ЇХ ЛОКАЛЬНИХ КОНТРАСТІВ

Для ілюстрації методу покращання зображення підсиленням його локальних контрастів виберемо три їх види – абсолютний відносний та зважений.

A. Метод на основі абсолютного локального контрасту

Цей вид контрасту C_1 описується різницею інтенсивності елемента зображення L та усередненого значення \bar{L} околу W його елементів

$$\bar{L} = \text{mean}(L)_{L \in W} \quad (12)$$

як

$$C_1 = L - \bar{L}, \quad (13)$$

звідки

$$L = \bar{L} + C_1. \quad (14)$$

Тоді, підсилюючи локальний контраст C_1 так, що його нове значення C_1^* відповідає вимозі

$$|C_1^*| > |C_1|, \quad (15)$$

формуємо нове значення L^* інтенсивності L

$$L^* = \bar{L} + C_1^*. \quad (16)$$

Отриманий вираз (16) засвідчує, що абсолютний локальний контраст (13) є основою синтезу методу

нерізкого маскуванню, який полягає у формуванні нової інтенсивності елемента зображення L^* як суми низькочастотної складової \bar{L} (12) та підсиленої високочастотної складової C_1^* .

В. Метод на основі відносного локального контрасту

Цей вид контрасту C_2 описується виразом

$$C_2 = \frac{L - \bar{L}}{L}, \quad (17)$$

для $L \geq \bar{L}$, звідки

$$L = \frac{\bar{L}}{1 - C_2}. \quad (18)$$

Підсилюючи локальний контраст C_2 так, що його нове значення C_2^* відповідатиме вимозі

$$|C_2^*| > |C_1|, \quad (19)$$

формуємо нове значення L^* інтенсивності L , яке описується виразом

$$L^* = \frac{\bar{L}}{1 - C_2^*}, \quad (20)$$

а для випадку $\bar{L} > L$ – виразом

$$L^* = \bar{L}(1 - C_2^*). \quad (21)$$

Об'єднуючи вирази (18) і (21) маємо

$$L^* = \bar{L} \cdot (1 - C_2^*)^{\text{sign}(\bar{L} - L)}. \quad (22)$$

Отриманий вираз (22) репрезентує метод підсилення відносного локального контрасту [1,2].

С. Метод на основі зваженого локального контрасту

Цей вид контрасту C_3 описується виразом

$$C_3 = \frac{L - \bar{L}}{L + \bar{L}}, \quad (23)$$

для $L \geq \bar{L}$, звідки

$$L = \bar{L} \frac{1 + C_3}{1 - C_3}. \quad (24)$$

Застосовуючи описане вище підсилення локального контрасту C_3 формуємо нове його значення

$$|C_3^*| > |C_3| \quad (25)$$

і, відповідно, нове значення L^* інтенсивності L (24), яке набуває виду

$$L^* = \bar{L} \frac{1 + C_3^*}{1 - C_3^*}, \quad (26)$$

а для випадку $\bar{L} > L$

$$L^* = \bar{L} \frac{1 - C_3^*}{1 + C_3^*}. \quad (27)$$

Об'єднуючи вирази (26) і (27) отримуємо

$$L^* = \bar{L} \left(\frac{1 + C_3^*}{1 - C_3^*} \right)^{\text{sign}(\bar{L} - L)}. \quad (28)$$

Вираз (28) репрезентує метод підсилення зваженого локального контрасту. Однак описані вище методи підсилення локального контрасту не забезпечують рівномірності його підсилення як для висококонтрастних областей зображення, так і для слабкоконтрастних ділянок. Для усунення цього недоліку нами побудований інший метод, який базується на степеневому формуванні реакції зорової системи людини. Опишемо його далі.

IV. НОВИЙ МЕТОД СТЕПЕНЕВОГО ПІДСИЛЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ КОНТРАСТІВ ЗОБРАЖЕННЯ

У розробленому нами методі локальний контраст описується виразом

$$C_4 = \frac{\ln L - \ln \bar{L}}{\ln L} \quad (29)$$

для випадку $L > \bar{L}$. Цей метод також використовує підсилення локального контрасту, яке описується виразом

$$|C_4^*| > |C_4|. \quad (30)$$

З виразу (29) визначаємо величину L і отримуємо, що вона описується виразом

$$L = \exp \left[\frac{\ln \bar{L}}{(1 - C_4)} \right], \quad (31)$$

а для випадку підсиленого локального контрасту з величини C_4 до C_4^* отримуємо відповідно нове значення L як L^* :

$$L^* = \exp \left[\frac{\ln \bar{L}}{(1 - C_4^*)} \right] = \bar{L}^{\frac{1}{(1 - C_4^*)}}. \quad (32)$$

Для випадку $\bar{L} > L$ вираз для локального контрасту є таким

$$C_4 = \frac{\ln \bar{L} - \ln L}{\ln \bar{L}}, \quad (33)$$

звідки

$$L = \exp\left[(1 - C_4) \cdot \ln \bar{L}\right] \quad (34)$$

Враховуючи підсилення локального контрасту (33) з C_4 до C_4^* маємо

$$L^* = \exp\left[(1 - C_4^*) \cdot \ln \bar{L}\right] \quad (35)$$

або

$$L^* = \bar{L}^{(1 - C_4^*)} \quad (36)$$

Отримані вирази (32) та (36) можемо об'єднати в один

$$L^* = \bar{L}^{(1 - C_4^*) \cdot \text{sign}(\bar{L} - L)}. \quad (37)$$

Отриманий вираз (37) демонструє саме степеневу залежність впливу локального контрасту на загальну процедуру покращання якості зображення.

V. ВИСНОВКИ

Експериментальні результати застосування розробленого методу покращання якості зображення

через підсилення локальних контрастів підтвердили його ефективність. Це досягнуто завдяки вирівнюванню ступеня підсилення локальних контрастів, зумовленого використанням логарифмічної шкали при поданні складових локального контрасту.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Яворський І.М., Почапський Є.П., Воробель Р.А., Русин Б.П. Інформаційні технології неруйнівного контролю. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. у 8-ми томах. Львів: Простір-М, 2018. 508 с.
- [2] Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень. Київ: Наукова думка, 2012. 231 с.
- [3] W.K. Pratt, "Digital Image Processing," New Jersey: Wiley, 2007.
- [4] T.N. Cornsweet, "Visual Perception," New York: Academic Press, 1970.
- [5] J.L. Mannos, and D.J. Sakrison, "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images," IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. IT-20(4), 1974, pp. 525-536.
- [6] I.G. Priest, K.S. Gibson, and H.J. McNicholas, "An examination of the Munsell color system. 1. Spectral and total reflection on the Munsell scale of value," U.S. National Bureau Standards. Technical paper, vol. 167, 1920.
- [7] J.H. Ladd, and J.E. Pinney, "Empirical Relationships with the Muncell value scale," Proc. IRE (Correspondence), vol. 43(9), 1955, pp. 1137.
- [8] C.E. Foss, D. Nickerson, and W.C. Granville, "Analysis of the Ostwald color system," J. Opt. Soc. Am., vol. 34(7), 1944, pp. 361-381.
- [9] D.B. Judd, "Hue, saturation and lightness of surface colors with chromatic illumination," J. Opt. Soc. Am., vol. 30(1), 1940, pp. 2-32.