УДК 004.932

ВИРІВНЮВАННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ОБ'ЄКТІВ СЦЕНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГАРИФМІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

О. Р. Берегуляк, Р. А. Воробель

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України

E-mail: oberehulyak@ipm.lviv.ua, roman.vorobel@gmail.com

Проаналізовано проблему вирівнювання освітленості об'єктів на зображенні сцени. Виявлено, що можливим її розв'язком є застосування одномасштабного ретинексу, започаткованого в працях Е. Ленда. Описано базову модель одномасштабного ретинексу. Показано, що в його основі – інверсія відносного локального контрасту. Для забезпечення можливості вибору оптимального за розрізненням результуючого зображення побудовано параметричну модель вирівнювання освітленості, яка ґрунтується на логарифмічному перетворенні інверсії зваженого контрасту. Наведено результати опрацювання синтезованого зображення. Проілюстровано кількісний вибір оптимально перетвореного зображення за ознакою більшого розрізнення деталей у всьому діапазоні інтенсивностей.

Ключові слова: *опрацювання зображень, ретинекс, логарифмічне перетворення, вирівнювання освітленості.*

LUMINOSITY EQUALIZATION OF SCENES OBJECTS USING THE LOGARITHMIC TRANSFORMATION

O. R. Berehulyak, R. A. Vorobel

H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine

The problem of luminosity equalization on the image of scene is considered. It is shown that usage of single scale retinex, launched by E. Land, is its possible solution. The basic model of single scale retinex is analyzed. It is shown that this model is based on the usage of local contrast inversion. The parametric model of luminosity equalization is built to ensure optimal choice of the resulting image by the distinction. It is based on logarithmic transformation of inversion of weighted contrast. The results of the synthesized image processing are shown. The quantitative selection of optimally processed image on the basis of better details distinguishing in full range of intensities is illustrated.

Keywords: *image processing, retinex, logarithmic transformation, luminosity equalization.*

В опрацюванні зображень одна з найважливіших задач – нормалізація інтенсивності елементів, щоб поліпшити їх якість. При цьому використовують методи розтягу діапазону інтенсивностей [1], методи лінійного контрастування [2] та вирівнювання гістограми [1]. Саме метод вирівнювання гістограми розподілу інтенсивностей елементів забезпечує формування зображення з рівномірним розподілом. Проте фізично ефект вирівнювання розподілу досягають, розширюючи область навколо моди гістограми, через що понижується розрізнювальність дрібних деталей. Нормалізувальні перетворення внаслідок лінійного глобального контрастування теж не забезпечують однакового підсилення контрасту в заданому діапазоні зміни інтенсивностей елементів зображення. Тому набув поширення метод вирівнювання освітленості, який розробив Е. Ленд [3] та розвинув МакКен [4, 5], опираючись на властивості сітківки ока людини (retina) та кори головного мозку (cortex), звідси і його назва – ретинекс (retinex). Проте за найпростішої його реалізації, відомої як одномасштабний ретинекс (Single Scale Retinex, SSR), не вдається вибрати оптимальне зображення за результатами його перетворення та особливостями сприйняття людиною. Тому нижче побудовано метод вирівнювання освітленості об'єктів сцени за її цифровим зображенням, який дає можливість вибирати ефективніше для сприйняття людиною результуюче зображення.

© О. Р. Берегуляк, Р. А. Воробель, 2016

Для цього стисло описано відомий метод вирівнювання освітленості та узагальнено його, щоб вибрати краще опрацьоване зображення.

Класичний метод одномасштабного ретинексу **[3, 4]**. Він заснований на алгоритмічній реалізації обчислень відбивальної здатності елемента $L(i, j)$ зображення L за виразом

$$R(i, j) = \ln\left[L(i, j)\right] - \ln\left[L(i, j) * F(i, j)\right] = \ln\frac{L(i, j)}{L(i, j) * F(i, j)}, \quad (1)$$

де $L(i, j)$ – рівень сірого елемента напівтонового зображення з координатами (i, j), $i \in \overline{1, N}$, $j \in \overline{1, M}$; $N \times M$ – розмір зображення L; $F(i, j)$ – імпульсна характеристика низькочастотного згладжувального гауссівського фільтра, а "зірочка" означає згортку зображення L з імпульсною характеристикою $F(i, j)$, результатом якої є згладжене зображення:

$$\overline{L}(i, j) = L(i, j) * F(i, j), \quad (2)$$

де $F(i, j) = e^{-(i^2 + j^2)/\sigma^2}$, а σ – середньоквадратичне відхилення; K – ваговий коефіцієнт, який вибирають так, що

$$K \cdot \sum_i \sum_j F(i, j) = 1. \quad (3)$$

Для одномасштабного ретинексу (SSR), реалізуючи згладження, використовують тільки один фільтр, хоча для багатократного ретинексу – декілька [6].

Загалом низькочастотна складова $\overline{L}(i, j)$ описує компоненту освітленості, а величина

$$r(i, j) = \frac{L(i, j)}{L(i, j) * F(i, j)} = \frac{L(i, j)}{\overline{L}(i, j)} \quad (4)$$

– відбивальну здатність елемента поверхні об'єкта сцени. При цьому відчувану спостерігачем відбивальну здатність визначає вираз

$$R(i, j) = \ln\, r(i, j) = \ln\frac{L(i, j)}{\overline{L}(i, j)}. \quad (5)$$

У моделі ретинексу (5) кінцевий результат опрацювання первинного зображення L формують лінійним розтягом чи іншим методом табличних перетворень отриманих значень $R(i, j) \in R$.

Однак відома і мультиплікативна модель Стокхема зору людини [7], яку описує вираз

$$L(i, j) = r(i, j) \cdot \overline{L}(i, j), \quad (6)$$

де $r(i, j) \in [0,1]$, $L(i, j) \in [0, \infty)$. Звідси отримуємо також, що

$$r(i, j) = \frac{L(i, j)}{\overline{L}(i, j)}. \quad (7)$$

Отже, вираз (7), який відповідає формулі (4), відтворює мультиплікативну модель зору Стокхема як базову частину моделі ретинексу, пов'язану з психофізичним законом Вебера–Фехнера сприйняття світла людиною, за яким реакція зору людини пропорційна логарифму світлового збудження.

Однак описаний метод реалізації одномасштабного ретинексу не дає можливості вибрати результуюче зображення за ознакою кращого його сприйняття людиною, для якого середнє значення рівнів інтенсивності зображення дорівнює по-

ловині його діапазону (зокрема, і за рівномірного розподілу гістограми інтенсивностей елементів зображення) [8]. Тому, щоб зберегти можливість вибору так перетвореного зображення за цим методом, яке б забезпечувало середнє значення рівнів інтенсивностей, рівне половині їх можливого діапазону, побудували розширену модель компоненти освітленості (4) і (7). Враховуючи її, створили параметризовану модель вирівнювання освітленості об'єктів сцени, яку розглянемо детальніше.

Параметризована модель вирівнювання освітленості об'єктів сцени **[1]**. Запишемо вираз логарифмічного перетворення складової $r(i, j)$ відбивальної здатності (1) у вигляді

$$R(i, j) = \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) \left| \ln \frac{L(i, j)}{\bar{L}(i, j)} \right| =$$

$$= \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) \left| \ln(1 - |C_{\text{rel}}(i, j)|) \right| . \quad (8)$$

Тут

$$\frac{L(i, j)}{\bar{L}(i, j)} = 1 - |C_{\text{rel}}(i, j)| = 1 - \frac{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j)) - \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))}{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j))} =$$

$$= \frac{\min(L(i, j), \bar{L}(i, j))}{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j))} , \quad (9)$$

де $C_{\text{rel}}(i, j) = \dfrac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{\max[L(i, j), \bar{L}(i, j)]}$ – відносний локальний контраст елемента зображення [2]. Тобто відома теорія ретинексу заснована на інверсних значеннях відносного локального контрасту. Для керованості моделювальними властивостями компоненти відбивальної здатності елемента поверхні об'єкта застосуємо у виразі (8) замість відносного локального контрасту його загальніший опис у вигляді зваженого контрасту [9, 10]:

$$U(i, j) = \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) \times$$

$$\times \ln \left(1 - \frac{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j)) - \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))}{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j)) + p \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))} \right) =$$

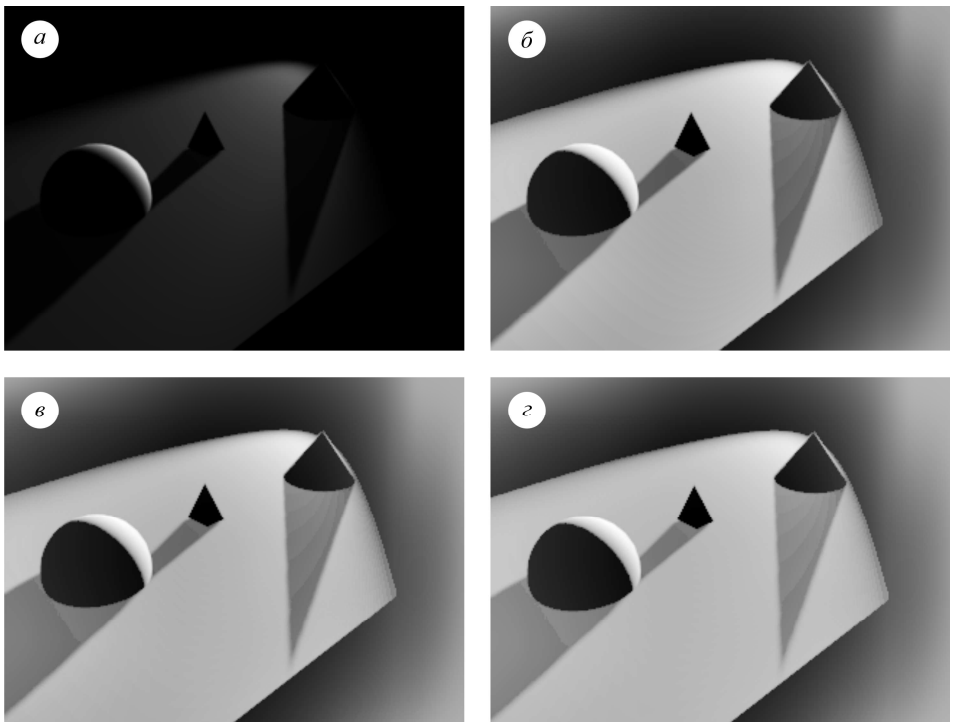
$$= \text{sign}(L(i, j) - \bar{L}(i, j)) \left| \ln \frac{(1 + p) \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))}{\max(L(i, j), \bar{L}(i, j)) + p \min(L(i, j), \bar{L}(i, j))} \right| , \quad (10)$$

де $p \in (-1, \infty)$. Якщо $p = 0$, вираз (10) відповідає виразу (8), а за всіх інших значень розширює можливості класичного ретинексу.

Параметричне вирівнювання освітленості. Для визначення оптимально перетвореного зображення, щоб вирівняти освітленість об'єктів сцени, виконали такі дослідження. Синтезували зображення тривимірної сцени з різними об'єктами (див. рисунок, зображення *a*), яке опрацьовували за розробленим методом на основі моделі (8) за різних значень параметра *p* (див. таблицю). Визначали усереднений глобальний рівень інтенсивностей елементів *Lmean* отриманих зображень.

Таблиця усереднених рівнів інтенсивностей *Lmean*, отриманих за різних значень *p*

p	*Lmean*
–0,9	109,9
–0,5	119,2
–0,1	125,0
0	126,2
0,1	127,4
0,5	131,4
0,9	134,9



Зображення тривимірної сцени (*а*) та результати його опрацювання (*б*–*г*) за розробленим методом з різними значеннями параметра *p*: *б* – –0,5; *в* – 0,1; *г* – 1.

Оптимальним результуючим є зображення, для якого усереднене значення рівнів інтенсивності *Lmean* усіх елементів найменше відрізняється від середини максимально допустимого діапазону рівнів сірого $L_{med} = 128$ (для 8-бітних елементів зображення) [8]:

$$L_{opt} = \min_{p \in (-1,\infty)} \left| Lmean^{(p)} - L_{med} \right| = \min_{p \in (-1,\infty)} \left| Lmean^{(p)} - 128 \right|.$$

Для цього вхідного зображення, що на рисунку *а*, оптимальним є значення $p = 0{,}1$. Отже, вводячи параметр *p*, можна вибирати оптимальне за якістю розрізнення відновлене зображення об’єктів сцени, освітленість яких вирівняна.

ВИСНОВКИ

Описана параметризована модель вирівнювання освітленості об’єктів сцени на основі логарифмічного перетворення інверсії зваженого контрасту дає можливість вибрати оптимальне за розрізнювальністю деталей зображення з нерівномірним освітленням через його вирівнювання.

1. *Gonzalez R., Woods R.* Digital Image Processing. – Pearson Prentice Hall., 2007. – 976 p.
2. *Шлихт Г. Ю.* Цифровая обработка цветных изображений. – М.: Изд-во ЭКОМ, 1997. – 334 с.
3. *Land E. H.* The Retinex // American Sci. – 1964. – **52**, № 2. – P. 247–264.
4. *Land E. H., McCann J. J.* Lightness and Retinex Theory // J. Optical Soc. of America. – 1971. – **61**. – P. 1–11.
5. *Rahman Z., Jobson D. J., Woodell G. A.* Retinex Processing for Automatic Image Enhancement // J. Electronic Imaging. – 2004. – **13**, № 1. – P. 100–110.
6. *Barnard K., Funt B.* Investigations into multi-scale retinex // Colour Imaging: Vision and Technology. – John Wiley and Sons, 1999. – P. 9–17.
7. *Image* Processing in the Context of a Visual Model / T.G. Stockham et al. // Proc. of the IEEE. – 1972. – **60**, № 7. – P. 825–842.
8. *Воробель Р. А.* Логарифмічна обробка зображень. – К.: Наук. думка, 2012. – 232 с.
9. *Воробель Р. А.* Вирівнювання освітленості при опрацюванні зображень // Зб. пр. IV наук.-техн. конф. “Обчислювальні методи і системи перетворення інформації”. Львів, 28–30 вер. 2016 р. – Львів: Фіз.-мех. ін-т НАН України, 2016. – С. 206–208.
10. *Воробель Р. А.* Узагальнений опис зваженого та відносного контрастів елементів монохроматичного зображення // Відбір і обробка інформації. – 2011. – Вип. 34 (110). – С. 120–128.

Одержано 16.06.2016