

ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ЗОРУ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Parametric visual model for image processing is proposed. For this goal algebraic method for construction logarithmic type model is used. Application such model for image enhancement with using technologies, based on retinex theory.

Keywords: *visual model, image enhancement, algebraic model.*

Побудовано параметричну модель зору для опрацювання зображень. Для цього застосовано метод побудови алгебричних моделей логарифмічного типу. Показано застосування такої моделі для покращання зображень з використанням технологій, що базуються на теорії ретинексу.

Ключові слова: *моделі зору, покращання зображень, алгебричні моделі.*

Ефективність опрацювання зображень тісно пов'язана з теоретичними засадами використовуваних для цієї мети методів. І тут зорова система людини часто виступає як еталон досконалості. Можливості системи бачення людини є постійним об'єктом зацікавлення для глибшого його пізнання, моделювання та практичного впровадження в системи інтелектуального аналізу тривимірних сцен. І тут виокремимо три базові напрями досліджень, нерозривно пов'язані як із світлом, так і з його сприйняттям людиною.

Перший напрям досліджень був сформований у роботі Стокхема (Т. Stockham Jr.) [8]. У ній вперше виділено гомоморфне опрацювання зображень, в якому вхідну інтенсивність подавали через добуток двох складових, яким характеризується світловий сигнал $I_{x,y}$, як енергетичний сигнал, а саме:

$$0 < I_{x,y} < \infty, \quad \infty > i_{x,y} > 0, \quad 1 > r_{x,y} > r_{\min} \approx 0,005, \quad (1)$$

де $i_{x,y}$ – це освітленість, а $r_{x,y}$ – відбиваюча здатність, x, y – координати елемента зображення. Завдяки цьому світловий сигнал описувався добутком складових освітленості $i_{x,y}$ та відбиваючої здатності $r_{x,y}$:

$$I_{x,y} = i_{x,y} \cdot r_{x,y}, \quad (2)$$

і через гомоморфне перетворення ця вхідна інтенсивність $I_{x,y}$ шляхом логарифмування перетворювалась у вхідну густину $\tilde{I}_{x,y}$, яка описується сумою складових $\tilde{i}_{x,y}$ та $\tilde{r}_{x,y}$:

$$\tilde{I}_{x,y} = \tilde{i}_{x,y} + \tilde{r}_{x,y}. \quad (3)$$

Ці складові перетворювалися роздільно лінійною системою в $\tilde{i}'_{x,y}$ та $\tilde{r}'_{x,y}$ відповідно, і на її виході формувалася густина $\tilde{I}'_{x,y}$:

$$\tilde{I}'_{x,y} = \tilde{i}'_{x,y} + \tilde{r}'_{x,y}. \quad (4)$$

Далі, після зворотного (експоненційного) перетворення густини $\tilde{I}'_{x,y}$, на виході формується опрацьована інтенсивність $I'_{x,y}$ як добуток опрацьованих освітленості $i'_{x,y}$ та відбиваючої здатності $r'_{x,y}$:

$$I'_{x,y} = i'_{x,y} \cdot r'_{x,y} > 0. \quad (5)$$

Тобто світловий енергетичний сигнал $I_{x,y}$ у процесі його перетворення такою гомоморфною системою подавався як добуток двох складових – опрацьованої інтенсивності $i'_{x,y}$ та опрацьованої відбиваючої здатності $r'_{x,y}$.

Другий напрямок досліджень пов'язаний з відомим законом дифузного розсіювання світла Ламберта (J. Lambert) [3], за яким інтенсивність відбитого світла I_α пропорційна до добутку інтенсивності падаючого світла I_0 на косинус кута падіння θ :

$$I_\alpha = I_0 \cos \theta, \quad (6)$$

де $0 < I_0 < \infty$, а $0 < \cos \theta \leq 1$. Тобто, якщо порівнювати формули (2) і (6), то в них освітленість $i_{x,y}$ відповідає інтенсивності світла I_0 , а відбиваюча здатність $r_{x,y}$ – величині $\cos \theta$. Ці дві моделі є мультиплікативними моделями і в певній мірі тотожними. Вони стали основою моделювання освітлення і відбиття на зображеннях у комп'ютерній графіці на прикладі моделей Фонга (B. Phong) [7] та Блінна (I. Blinn) [4].

Третій напрям досліджень, пов'язаний з використанням мультиплікативної моделі зору людини, розвинутий у роботах Ленда (E. Land) [6], саме він звернув увагу на вагомість аналізу складової відбиваючої здатності $R_{x,y}$ елемента зображення поверхні сцени і використовував подання рівня сірого (інтенсивності) елемента зображення $L_{x,y}$ через добуток

$$L_{x,y} = \bar{L}_{x,y} \cdot R_{x,y}, \quad (7)$$

де $\bar{L}_{x,y}$ – це рівень сірого елемента згладженого зображення, звідки

$$R_{x,y} = \frac{L_{x,y}}{\bar{L}_{x,y}}, \quad (8)$$

а для більш повної відповідності психофізичним властивостям зорової системи людини застосував опис відбиваючої здатності виразом

$$R_{x,y}^* = \ln \frac{L_{x,y}}{\bar{L}_{x,y}}. \quad (9)$$

Проте у всіх перелічених трьох випадках вирази (2), (6) та (7), які моделюють добутком первинну інтенсивність світла, не мають можливості реалізації коригуючого впливу. Щоб зреалізувати його, потрібне параметричне подання таких моделей. Тому метою роботи є розробка параметричної моделі зору для опрацювання зображень. Адже зображення бувають як різного семантичного змісту, так і можуть використовувати різні гістограми розподілу інтенсивності (рівнів сірого їх елементів). В цілому, для побудови параметричної моделі зору спочатку встановимо математичний спосіб отримання в аналітичній формі виразу (2), а потім застосуємо його до отримання пошукуваної моделі.

Формування математичного опису мультиплікативної моделі зору. Для отримання аналітичного подання такої моделі на початку пронормуємо вхідні параметри. Нехай освітленість $i_{x,y}$ та відбиваюча здатність $r_{x,y}$ задані на проміжку $i_{x,y}, r_{x,y} \in [0, 1]$. Тоді рівняння (2) можемо подати так:

$$I_{x,y} = i_{x,y} \cdot r_{x,y} = \exp\{-[(-\ln i_{x,y}) + (-\ln r_{x,y})]\} = \exp[\ln(i_{x,y} \cdot r_{x,y})]. \quad (10)$$

Однак зазначимо, що при цьому модель (10) є аналітичним виразом операції додавання $i_{x,y} \langle + \rangle r_{x,y}$ [6–8]:

$$u \langle + \rangle v = f^{-1}(f(u) + f(v)), \quad (11)$$

де $f(u) = -\ln(u)$; $f^{-1}(u) = \exp(-u)$ – обернена до $f(u)$ функція; $u, v \in [0, 1]$; $f(0) = \infty$; $f(1) = 0$.

За аналогією до формули (11) можемо записати вираз для отримання в аналітичному вигляді операції віднімання

$$u \langle - \rangle v = f^{-1}(f(u) - f(v)). \quad (12)$$

Тоді, щоб змодельювати спосіб отримання в аналітичному вигляді відбиваючої здатності $r_{x,y}$, за аналогією з виразом (8), з формули (2) отримуємо

$$r_{x,y} = \frac{I_{x,y}}{i_{x,y}}, \quad (13)$$

або ж, застосувавши таке її подання

$$r_{x,y}^* \equiv I_{x,y} \langle - \rangle i_{x,y} = \exp\{-[(-\ln I_{x,y}) - (-\ln i_{x,y})]\} = \exp\left(\ln \frac{I_{x,y}}{i_{x,y}}\right), \quad (14)$$

чи без експоненційного перетворення –

$$r_{x,y}^* = \ln \frac{I_{x,y}}{i_{x,y}}. \quad (15)$$

Отже, рівняння (11) та (12) є способом отримання в аналітичному вигляді виразів для реалізації операції додавання та віднімання відповідно за умови задання функції $f(u)$. При цьому рівняння (11) описує спосіб знаходження трикутної t -норми [1].

Формування параметричної моделі зору. В основу способу формування такої моделі покладемо апарат побудови трикутних норм [1, 5]. Нехай $u, v \in [0, 1]$. Тоді відома алгебрична трикутна t -норма $T_p : [0, 1] \times [0, 1] \Rightarrow [0, 1]$, яка описується виразом

$$T_p = u \cdot v, \quad (16)$$

має своїм адитивним генератором $t_a(u)$ функцію

$$t_a(u) = -\ln(u). \quad (17)$$

Щоб зробити таку t -норму параметричною, застосуємо степеневе перетворення до її адитивного генератора. Тоді ця модифікована функція-генератор набуде такого вигляду:

$$\forall \alpha > 0 \quad t_{a,\alpha}(u) = [-\ln(u)]^\alpha, \quad (18)$$

відповідно, обернена до неї функція

$$t_{a,\alpha}^{-1}(u) = \exp[-(u)^{1/\alpha}]. \quad (19)$$

Звідси, враховуючи рівняння (11) і формули (18)–(19), отримуємо такий вираз для нової параметричної трикутної t -норми:

$$T_{p,\alpha} = \exp\{-[(-\ln(u))^\alpha + (-\ln(v))^\alpha]^{1/\alpha}\} \quad (20)$$

та відповідний їй вираз параметричної моделі зору [9]

$$I_{x,y,\alpha} = \exp\{-[(-\ln i_{x,y})^\alpha + (-\ln r_{x,y})^\alpha]^{1/\alpha}\}. \quad (21)$$

Отже, використовуючи за функціональне перетворення адитивного генератора трикутної t -норми (17) степеневу функцію (18), отримуємо аналітичний вираз параметричної моделі зору (21) [2]. За аналогією до отримання операції додавання будемо вираз для реалізації операції віднімання:

$$I_{x,y} \langle - \rangle i_{x,y} = \text{sign}(i_{x,y} - I_{x,y}) \exp\{-|(-\ln I_{x,y})^\alpha - (-\ln i_{x,y})^\alpha|^{1/\alpha}\}, \quad (22)$$

де

$$\text{sign}(z) = \begin{cases} -1, & \text{якщо } z < 0, \\ 0, & \text{якщо } z = 0, \\ 1, & \text{якщо } z > 0, \end{cases}$$

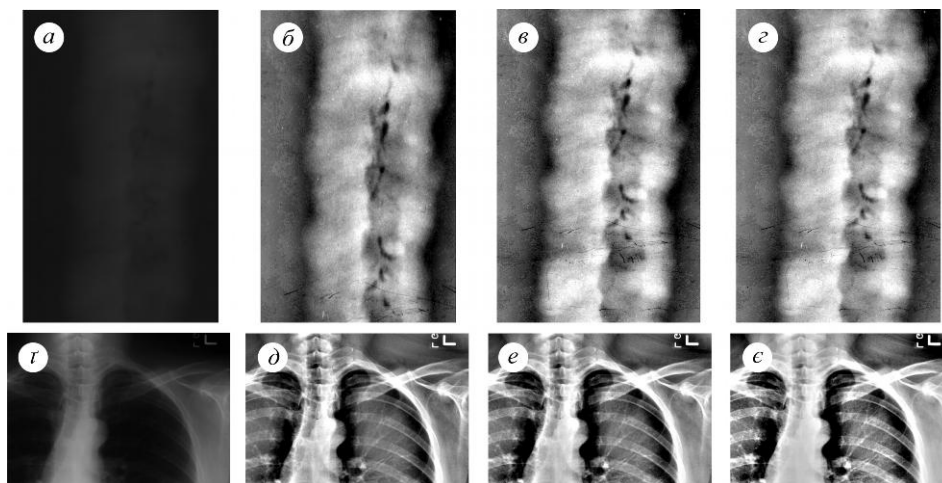
або ж у модельному поданні за технологією регинексу [5] і за аналогією до виразу (15) без експоненційної функції:

$$R_{x,y,\alpha}^* = \text{sign}(\bar{L}_{x,y} - L_{x,y}) \left| (-\ln L_{x,y})^\alpha - (-\ln \bar{L}_{x,y})^\alpha \right|^{1/\alpha}, \quad (23)$$

чи у вигляді безпосереднього подання для опрацювання зображень, з врахуванням формування згладженого зображення $\bar{L}_{x,y}$ через згортку * первинного зображення $L_{x,y}$ з імпульсною характеристикою згладжуючого фільтра $h_{x,y}$:

$$R_{x,y,\alpha}^* = \text{sign}(L_{x,y} * h_{x,y} - L_{x,y}) \left| (-\ln L_{x,y})^\alpha - [-\ln(L_{x,y} * h_{x,y})]^\alpha \right|^{1/\alpha}. \quad (24)$$

На рисунку *a-г* подано результати опрацювання за технологією на основі виразу (23) зображення зварного шва за різних значень параметра α : 0,2; 1; 5, а на рисунку *г-є* – результати опрацювання зображення рентгенограми грудної клітини людини за значень параметра α : 0,5; 1; 2. Зміна значень α у мультиплікативній параметричній моделі забезпечує зміну контрасту опрацьованих зображень. Вибираючи за оптимальне те, для якого узагальнений контраст зображення відповідає точці зміни знаку його кривизни, формуємо опрацьоване зображення з найкраще візуалізованими дрібними деталями.



Приклади опрацювання зображень, які базуються на параметричній моделі за виразом (24):

a – первинне зображення зварного шва та його опрацювання за значень параметра:

б – $\alpha = 0,2$; *в* – $\alpha = 1$; *г* – $\alpha = 5$; *г* – первинне зображення рентгенограми грудної клітини та його опрацювання за значень параметра: *д* – $\alpha = 0,5$; *е* – $\alpha = 1$; *є* – $\alpha = 2$.

ВИСНОВКИ

Описаний метод побудови параметричної моделі зору для опрацювання зображень, який через зміну числових значень параметра степеневі функції забезпечує вибір такого опрацьованого зображення, яке найкраще відображає дрібні його деталі.

1. *Воробель Р. А.* Логарифмічна обробка зображень. – К.: Наук. думка, 2012. – 231 с.
2. *Воробель Р. А.* Параметрична модель зору людини // Матер. XIX Всеукраїнської наук. конф. “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”, 3–4 жовтня 2013 р. – Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. – С. 45.
3. *Ландсберг Г. Н.* Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
4. *Blinn J. F.* Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures // Computer Graphics SIGGRAPH-ACM. – 1977. – **11**, № 2. – P. 192–198.
5. *Klement E. P., Mesiar R., Pap P.* Triangular norms. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2000. – 384 p.
6. *Land E.* Recent advances in retinex theory and some implications for cortical computations // Proc. Nat. Acad. Sci. – 1983. – **80**. – P. 5163–5169.
7. *Phong B. T.* Illumination for Computer Generated Pictures // Communication of the ACM. – 1975. – **18**, № 6. – P. 311–317.
8. *Stockham T. G. Jr.* Image processing in the context of a visual model // Proc. of the IEEE, 1972. – **60**, № 7. – P. 828–842.

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

Одержано
20.06.2013