

УДК 004.932

Р. А. Воробель, І. Б. Івасенко

МОРФОЛОГІЧНЕ ПОКРАЩАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГАРИФМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Generalized basic model for logarithmic image processing is investigated for image enhancement problem.

Key words: *morphologic transformations, image enhancement, logarithmic morphology.*

Досліджено використання узагальненої базової моделі логарифмічної обробки зображень для задачі покращання зображень.

Ключові слова: *морфологічні перетворення, покращання зображень, логарифмічна морфологія.*

Покращання якості зображень є актуальною задачею в системах технічного зору, дистанційному зондуванні, біомедичному аналізі зображень. Як один із способів її реалізації, останніми роками виділяється саме логарифмічна обробка зображень (ЛОЗ), запропонована у роботах Жорлін та Пінолі [7–9, 12]. Логарифмічна модель представлення зображень є потужним інструментом для обробки та аналізу напівтонових та кольорових зображень, бо відображає особливості психофізичного сприйняття зображень людиною. Оскільки у процесі логарифмічної обробки зображень арифметичні операції безпосередньо враховують нелінійну залежність інтенсивності (рівня сірого) елемента зображення під час його психофізичного сприйняття, то логічним є припустити, що обробка за цим підходом має дати добрі результати. Однак наявність узагальненої логарифмічної моделі вимагає вибору оптимальних значень параметрів у процесі реалізації такої ЛОЗ. Тому актуальним є дослідження оптимальних параметрів узагальненої моделі ЛОЗ [2] для покращання якості обробки зображень.

Для поліпшення якості зображень використовують різні методи обробки як в частотній, так і в просторовій області [5]. Однак серед багатьох методів покращання якості зображень є методи, які використовують морфологічну обробку. Саме на використання такого підходу під час одночасного застосування логарифмічної моделі зображення і спрямована ця робота. Тому на початку розглянемо базові методи логарифмічної обробки зображень, потім опишемо метод логарифмічної морфологічної обробки, а на завершення застосуємо до відомої логарифмічної морфологічної обробки нову узагальнену модель [2] та з її використанням проведемо дослідження якості опрацьованих за таким підходом зображень.

Основні моделі логарифмічної обробки зображень. Розглянемо зображення та структурний елемент як напівтонові функції визначені так: $F : D \rightarrow E$, $D \subset \mathbf{R}^2$, $E = (-M, M)$, $M > 0$. Також позначимо $I(D, E)$ набір напівтонових функцій, визначених у $D \subset \mathbf{R}^2$, які набувають значення з інтервалу $E = (-M, M)$.

В обробку зображень термін ЛОЗ (англомовна версія – LIP) був введений роботами Жорлін та Пінолі, починаючи з 1985 р. [7–9, 12]. У них модель ЛОЗ реалізовувалася поелементною операцією додавання рівнів сірого елементів двох зображень u та v

$$u \oplus v = u + v - \frac{u \cdot v}{M}, \quad (1)$$

© Р. А. Воробель, І. Б. Івасенко, 2010

операцією множення на скаляр за формулою

$$\alpha \otimes u = M - M \left(1 - \frac{u}{M} \right)^\alpha \quad (2)$$

та операцією віднімання

$$u \ominus v = M \frac{u - v}{M - v}. \quad (3)$$

Відома також інша модель ЛОЗ Патраску [10, 11], яка оперує не тільки з додатними, але і від'ємними числами $E = (-M, M)$, де $M > 0$, $\forall u, v \in E$ і для поелементного додавання зображень використовує вираз

$$u \langle + \rangle_2 v = \frac{u + v}{1 + u \cdot v / M^2}, \quad (4)$$

а для операції множення вектора на скаляр $\forall \alpha \in R$ –

$$\alpha \langle \times \rangle_2 u = M \cdot \frac{(M + u)^\alpha - (M - u)^\alpha}{(M + u)^\alpha + (M - u)^\alpha}. \quad (5)$$

У роботі [2] побудована параметрична модель ЛОЗ, яка узагальнює відомі моделі Жорлін–Пінолі [7–9], базову [1] та Патраску [10, 11]. Операцію додавання $\langle + \rangle_g$ для $\forall u, v \in E$ визначено так:

$$u \langle + \rangle_p v = \text{sign}(u + v) \cdot \frac{|u + v| + (1 - q) \cdot (p - 2) \cdot u \cdot v / M}{1 + (p - 1) \cdot u \cdot v / M^2 + q \cdot (p - 2) \cdot \min(|u|, |v|) / M}, \quad (6)$$

де $E = (-M, M)$, $M > 0$, $p > 0$,

$$q = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \text{sign}(u) = \text{sign}(v), \\ 1, & \text{якщо } \text{sign}(u) = -\text{sign}(v), \end{cases}$$

та операцію множення на скаляр для довільного $\alpha \in R$ і для довільного $u \in E$, яку можна описати виразом

$$\alpha \langle \times \rangle_p u = \text{sign}(\alpha \cdot u) \cdot M \cdot \frac{(M + (p - 1) \cdot |u|)^{|\alpha|} - (M - |u|)^{|\alpha|}}{(M + (p - 1) \cdot |u|)^{|\alpha|} + (p - 1)(M - |u|)^{|\alpha|}}. \quad (7)$$

Нова узагальнена модель через наявність параметра $p > 0$ дає змогу вибирати різні модифікації ЛОЗ. Так, якщо $p = 1$, отримуємо базову модель ЛОЗ [1], яка узагальнює модель Жорлін–Пінолі [7–9], якщо $p = 2$, отримуємо модель Патраску [10, 11]. Завдяки цьому відомі моделі ЛОЗ стали складовою запропонованої узагальненої моделі. Це дає можливість ефективно адаптувати її залежно від властивостей об'єкта сприйняття зображення, який моделюється.

Мультиплікативні логарифмічні морфологічні оператори [13]. У роботі [13] подано логарифмічні морфологічні оператори як функції, які описують напівтонове зображення. Зокрема це:

а) мультиплікативна логарифмічна морфологічна ерозія зображення f структурним елементом g . Її визначають як

$$(f \langle - \rangle_{ML} \tilde{g})(x) = \inf \{ k \langle \times \rangle (f(y) - g(y - x)) \mid y \in \mathbf{R}^2 \}, \quad (8)$$

де \tilde{g} визначена так: $\forall x \in \mathbf{R}^n$, $\tilde{g}(x) = g(-x)$, а символ $\langle \times \rangle$ означає ЛОЗ добуток функції, що описує напівтонове зображення, на дійсний скаляр.

б) мультиплікативне логарифмічне морфологічне розширення зображення f структурним елементом g . Його визначають як

$$(f\langle+\rangle_{ML}\bar{g})(x) = \sup\{k\langle\times\rangle(f(y) + g(y-x)) \mid y \in \mathbf{R}^2\}, \quad (9)$$

де \bar{g} визначена так: $\forall x \in \mathbf{R}^n, \bar{g}(x) = g(-x)$, а $\langle\times\rangle$ означає ЛОЗ добуток функції, що описує напівтонове зображення, на дійсний скаляр. Оскільки мультиплікативна логарифмічна морфологічна ерозія та розширення є дуальними перетвореннями, їх композиція дає змогу згенерувати мультиплікативне логарифмічне морфологічне відмикання та замикання.

в) мультиплікативне логарифмічне морфологічне відмикання зображення f структурним елементом g . Його визначають як

$$\Psi_g^{ML} = (f\langle-\rangle_{ML}\bar{g})\langle+\rangle_{ML}g, \quad (10)$$

де \bar{g} визначена так: $\forall x \in \mathbf{R}^n, \bar{g}(x) = g(-x)$, а $\langle-\rangle_{ML}$ і $\langle+\rangle_{ML}$ означають мультиплікативну логарифмічну морфологічну ерозію та розширення.

г) мультиплікативне логарифмічне морфологічне замикання зображення f структурним елементом g . Його визначають як

$$\Phi_g^{ML} = (f\langle+\rangle_{ML}\bar{g})\langle-\rangle_{ML}g, \quad (11)$$

де \bar{g} визначена так: $\forall x \in \mathbf{R}^n, \bar{g}(x) = g(-x)$, а $\langle-\rangle_{ML}$ і $\langle+\rangle_{ML}$ означають мультиплікативну логарифмічну морфологічну ерозію та розширення.

Логарифмічні циліндричні перетворення [13]. У цій же роботі [13] Захареску подав опис ряду операторів, які він побудував, розвиваючи дослідження Пінолі та Монтарда [6]. Це є:

– оператор мультиплікативного логарифмічного білого циліндричного (англ. White Top Hat, WTH) перетворення зображення f – як логарифмічної різниці між функцією інтенсивності зображення та її мультиплікативним логарифмічним відмиканням

$$WTH_{ML}(f)(x, y) = f\langle-\rangle(f\langle-\rangle_{ML}\bar{g})\langle+\rangle_{ML}g; \quad (12)$$

– оператор мультиплікативного логарифмічного чорного циліндричного (англ. Black Top Hat, BTH) перетворення зображення f – це логарифмічна різниця між мультиплікативним логарифмічним замиканням функції інтенсивності зображення та функцією інтенсивності зображення

$$BTH_{ML}(f)(x, y) = ((f\langle+\rangle_{ML}\bar{g})\langle-\rangle_{ML}g)\langle-\rangle f; \quad (13)$$

– оператор поліпшення якості зображення на основі логарифмічного мультиплікативного контрастування зображення f , який обчислюється за формулою

$$ContEnh_{ML}(f) = f\langle+\rangle WTH_{ML}(f)\langle-\rangle BTH_{ML}(f). \quad (14)$$

Нові логарифмічні мультиплікативні оператори. Використовуючи узагальнену модель ЛОЗ, формуємо нові вирази для логарифмічних мультиплікативних операторів. Так, з виразу (8) на основі формули (6) отримуємо

$$(f\langle-\rangle_{ML}\bar{g})(x) = \inf_P \{ \text{sign}(k \cdot (f(y) - g(y-x))) \cdot M \times \\ \times \frac{(M + (p-1) \cdot |f(y) - g(y-x)|)^{|k|} - (M - |f(y) - g(y-x)|)^{|k|}}{(M + (p-1) \cdot |f(y) - g(y-x)|)^{|k|} + (p-1)(M - |f(y) - g(y-x)|)^{|k|}} \mid y \in \mathbf{R}^2 \}. \quad (15)$$

З виразу (9) на основі виразу (6) отримуємо:

$$(f\langle + \rangle_{ML} \bar{g})(x) = \sup_p \{ \text{sign}(k \cdot (f(y) + g(y-x)) \cdot M \times \\ \times \frac{(M + (p-1) \cdot |f(y) + g(y-x)|)^{|k|} - (M - |f(y) + g(y-x)|)^{|k|}}{(M + (p-1) \cdot |f(y) + g(y-x)|)^{|k|} + (p-1)(M - |f(y) + g(y-x)|)^{|k|}} \mid y \in \mathbf{R}^2 \} . \quad (16)$$

На основі виразів (15) і (16) будемо оператори $WTH_{ML}(f)$, $BTH_{ML}(f)$ та $ContEnh_{ML}(f)$ (12)–(14). Отримавши поліпшені зображення за описаною технологією логарифмічного мультиплікативного морфологічного перетворення, оцінимо кількісно їх якість.

Оцінка якості зображень. Щоб оцінити якість зображень, оброблених за методом логарифмічного мультиплікативного контрастування, ми використовували за основу інтегральний критерій якості [3]:

$$Q = 100 \cdot KC \cdot LQ \cdot KQ \cdot RQ, \quad (17)$$

де KC – оцінка контрастності зображення; LQ – оцінка рівня адаптації; KQ – оцінка використання рівнів градації та RQ – оцінка різкості зображення.

Контрастність зображення оцінювали за формулою $KC = 1 - |0,5 - C_{gen}^{abs}|$, де C_{gen}^{abs} – це узагальнений абсолютний контраст напівтонового зображення [4]:

$$C_{gen}^{abs} = \frac{1}{2 \cdot fMAX} \sum_{f=f_{min}}^{f_{max}} (2 \cdot |f - \bar{f}| + fMAX - |2 \cdot |f - \bar{f}| - fMAX|) \cdot H(f),$$

де f_{min} – мінімальна інтенсивність елементів зображення; f_{max} – максимальна інтенсивність елементів зображення; \bar{f} – усереднена інтенсивність усіх елементів зображення; $fMAX$ – максимально можлива інтенсивність елемента зображення ($fMAX = 255$ для 8-бітних напівтонових зображень); $H(f)$ – кількість елементів зображення з інтенсивністю f , поділена на загальну кількість елементів зображення.

Рівень адаптації зорової системи людини до зображення оцінювали за формулою $LQ = 1 - |\bar{f} - 128| / 128$.

Використання рівнів градації зображення оцінювали за формулою

$$KQ = S / LMAX,$$

де S – це кількість рівнів яскравості, що наявні на зображенні в кількості, більшій за $b \times N \times M$ ($N \times M$ – розміри зображення; b – константа)

Різкість зображення оцінювали за формулою $RQ = 1 - \exp(-RR / 20)$, де

$$RR = \frac{\int_a^b \left(\frac{df}{dx} \right)^2 dx}{(f(a) - f(b)) LMAX},$$

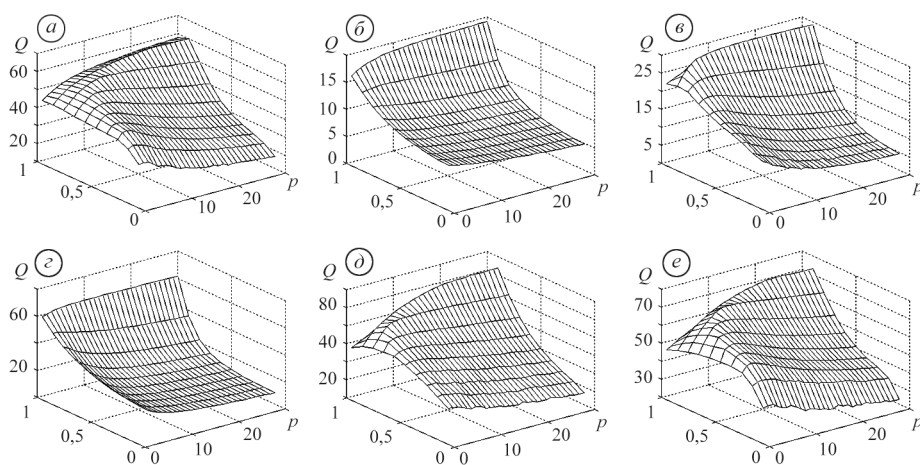
де $f(x)$ – це сигнал (інтенсивність елемента зображення); a і b – це точки, розміщені на протилежних краях перепаду.

Експериментальні результати. Для підвищення контрастності застосовано логарифмічне мультиплікативне контрастування зображення за формулою (14). Вибрано набір напівтонових тестових зображень розміром 256×256 елементів, поданих на рис. 1. Використано структурний елемент типу “diamond” розміром 3×3 піксели. Параметр k узагальненої ЛОЗ моделі змінювався в діапазоні від 0,1 до 1 з кроком 0,1. Контрастування для $k > 1$ не розглядалося, оскільки вхідне зображення перетворюється на інверсне. Параметр p змінювався в діапазоні від 1

до 30 з кроком 1. Результати оцінки якості зображень за формулою (17) подано на рис. 2.



Рис. 1. Тестові зображення *a* – “boat”; *б* – “clock”; *в* – “house”; *г* – “lake”; *д* – “lena”; *е* – “livingroom”; *є* – “mandril”; *ж* – “pepper”; *з* – “tree”.



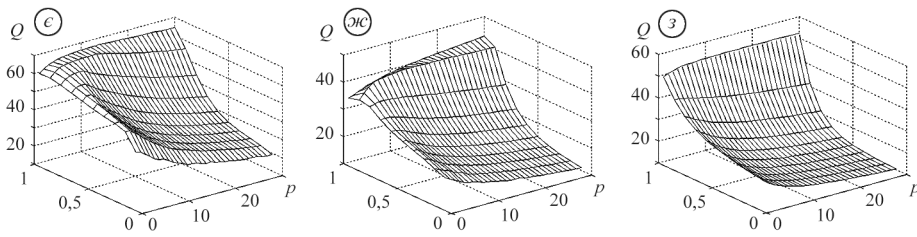


Рис. 2. Оцінка якості (а–з) оброблених тестових зображень з рис. 1 а–з.

Приклади опрацьованих зображень, поданих на рис. 1, за запропонованою методикою логарифмічної морфологічної обробки (13)–(14) подано на рис. 3 і з зазначеними показником якості та параметрами p і k .



Рис. 3. Оброблені морфологічним фільтром тестові зображення з рис. 1 а–з. а – $k = 0,9, p = 15, Q = 58,4$; б – $k = 1, p = 3, Q = 16,9$; в – $k = 0,9, p = 9, Q = 29,4$; г – $k = 1, p = 9, Q = 62,4$; д – $k = 0,9, p = 15, Q = 61,1$; е – $k = 0,9, p = 21, Q = 73,8$; є – $k = 0,9, p = 5, Q = 64,9$; ж – $k = 0,9, p = 20, Q = 41,2$; з – $k = 1, p = 3, Q = 50,6$.

ВИСНОВКИ

Проведені експериментальні дослідження засвідчили ефективність узагальненої моделі логарифмічної обробки зображень [2]. Через вибір певних значень

параметрів p і k можна значно покращувати якість зображень. Однак залишається не вирішеним повністю питання кількісної оцінки якості зображення, яке не дає змогу розв'язувати задачу покращання якості зображення як оптимізаційну шляхом максимізації показника якості Q .

1. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Ч. 1: Базова модель // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 31(107). – С. 26–35.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Ч. 2: Узагальнена модель // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 31(107). – С. 36–46.
3. Воробель Р. А. Деякі підходи до оцінки якості монохромних зображень та їх покращання засобами нелінійного розтягу // Інформаційні технології та системи. – 2000. – № 2. – С. 110–118.
4. Воробель Р. А. Сприйняття сюжетних зображень та кількісна оцінка їх контрасту на основі лінійного опису визначення контрастності елементів // Доп. НАН України. – 1998. – № 9. – С. 103–108.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
6. Jourlin M., Montard N. A logarithmic version of the top-hat transform in connection with the Asplund distance // Acta Stereologica. – 1998. – 16, № 3. – P. 201–208.
7. Jourlin M., Pinoli J.-C. A model for logarithmic image processing // Département de Mathématiques. – Université de Saint-Etienne, Décembre. – 1985. – № 3.
8. Jourlin M., Pinoli J.-C. A model for logarithmic image processing // Journal of Microscop. – 1988. – 149, Pt. 1. – P. 21–35.
9. Jourlin M., Pinoli J.-C. Logarithmic image processing // Advances in Imaging and Electron Physics. – 2001. – 115. – P. 129–196.
10. Pătraşcu V., Buzuloiu V. A Mathematical Model for Logarithmic Image Processing // The 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI2001, July 22–25. – Orlando, USA. – 2001. – 13. – P. 117–122.
11. Pătraşcu V., Buzuloiu V. The Affine Transforms for Image Enhancement in the Context of Logarithmic Models // Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Graphics, ICCVG 2002. – Poland: Zakopane. – 2002. – 2. – P. 596–601.
12. Pinoli J. C., Debayle J. Logarithmic adaptive neighborhood image processing (LANIP): introduction, connections to brightness perception, and application issues // EURASIP J. Advances in Signal Processing. – 2007. – Vol. 2007, Article ID 36105, doi: 10.1155/2007/36105, 22 p.
13. Zaharescu E. Morphological enhancement of medical images in a logarithmic image environment toolbox // 15th European Signal Proc. Conf., EUSIPCO 2007. – 2007. – P. 2263–2266.