

Адаптивне морфологічне покращання зображень з використанням логарифмічних перетворень

Роман Воробель, Ірина Івасенко

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України
vorobel@ipm.lviv.ua, ivasenko@ipm.lviv.ua

Abstract

A new adaptive image enhancement method based on logarithmic image processing is presented. Using of combination of logarithmic multiplicative operators allows to enhance low contrast image fragments. Experimental results confirm effectiveness of generalized logarithmic image processing model and allow to select adaptive parameter of the method.

В роботі представлено адаптивний метод покращання зображень, що базується на логарифмічній моделі представлення зображень. Використання комбінації логарифмічних мультиплікативних операторів дозволяє підкреслити низькоконтрастні фрагменти зображення. Проведено експериментальні дослідження, що засвідчують ефективність застосування узагальненої моделі логарифмічної обробки зображень та дають змогу адаптивно вибирати параметр методу.

1. Вступ

Отримання якісних зображень з контрастними деталями є актуальним в багатьох галузях, зокрема, в системах технічного зору, дистанційному зондуванні, біомедичному аналізі зображень. Методи обробки зображень, що підвищують сприйняття візуальної інформації, називаються методами покращання зображень. Складність розробки таких методів полягала у відсутності загальної теорії покращання зображень та ефективного кількісного стандарту якості зображень. 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 (ЛОЗ) арифметичні операції безпосередньо враховують нелінійну залежність інтенсивності (рівня сірого) елемента зображення від його психофізичного сприйняття, то логічним є припустити, що обробка за цим підходом має дати кращі 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 адаптивний 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.

2. Основні моделі логарифмічної обробки зображень

Розглянемо зображення та структурний елемент як напівтонові функції визначені так: $F: D \rightarrow E$, $D \subset R^2$, $E = (-M, M)$, $M > 0$. Також позначимо $I(D, E)$ набір напівтонових функцій, визначених у $D \subset R^2$, 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]. У них модель ЛОЗ реалізовувалася поелементною операцією додавання рівнів сірого елементів двох зображень u та v

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

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:

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

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

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

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 [12]. У роботі [12] 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

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

де \bar{g} визначена так: $\forall x \in R^n$, $\bar{g}(x) = g(-x)$, 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

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

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

3. Логарифмічні циліндричні перетворення

У цій же роботі [12] 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

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

4. Нові логарифмічні мультиплікативні оператори

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

$$(f \langle - \rangle_p \bar{g})(x) = \inf\{\text{sign}(k \cdot (f(y) - g(y - x))) \cdot M \times \frac{(M + (p - 1) \cdot |f(y) - g(y - x)|)^{|k|} - (M - |f(y) - g(y - x)|)^{|k|}}{(M + (p - 1) \cdot |f(y) - g(y - x)|)^{|k|} + (p - 1)(M - |f(y) - g(y - x)|)^{|k|}} \mid y \in R^2\}.$$

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

$$(f^{(+)}_{p,ML}\bar{g})(x) = \sup\{sign(k \cdot (f(y) + g(y-x)) \cdot M \times \frac{(M+(p-1) \cdot |f(y)+g(y-x)|)^{|k|} - (M-|f(y)+g(y-x)|)^{|k|}}{(M+(p-1) \cdot |f(y)+g(y-x)|)^{|k|} + (p-1)(M-|f(y)+g(y-x)|)^{|k|}} \mid y \in R^2\} \quad (16)$$

На основі виразів (15) і (16) будемо оператори $WTH_{ML}(f)$, $BTH_{ML}(f)$ та $ContEnh_{ML}(f)$ (12)-(14). Скаляр k може бути сталим для всього зображення або напівтоною функцією (адаптивним скалярним множенням). В роботі [12] Захареску запропонував для моделі Патраску [10-11] визначати k так:

$$k(x) = f(x) / M, \text{ для } f(x) \in [0, M]. \quad (17)$$

Такий підхід дає змогу підсилити світлі ділянки зображення.

В даній роботі запропоновано і досліджено наступні способи визначення k для параметричної моделі ЛОЗ [2]:

$$k(x) = |f(x)| / M \quad (18)$$

$$k(x) = 1 - |f(x)| / M \quad (19)$$

$$k(x) = \begin{cases} 2 \cdot (1 - |f(x)| / M)^2, & \text{якщо } 0.5 \leq |f(x)| / M \leq 1 \\ 1 - 2(f(x) / M)^2, & \text{якщо } 0 \leq |f(x)| / M \leq 0.5 \end{cases} \quad (20)$$

Використання виразу (18) для визначення параметра k підсилює світлі та темні ділянки зображення, а застосування формул (19-20) сприяє підсиленню контрасту в області середини діапазону рівнів сірого елементів зображення.

Отримавши поліпшені зображення за описаною адаптивною технологією логарифмічного мультиплікативного морфологічного перетворення, оцінимо кількісно їх якість.

5. Оцінка якості зображень

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

$$Q = 100 \cdot KC \cdot LQ \cdot KQ \cdot RQ, \quad (18)$$

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

Контрастність зображення оцінювали за формулою $KC = 1 - \left| 0.5 - C_{gen}^{abs} \right|$, де C_{gen}^{abs} – це узагальнений абсолютний контраст напівтонового зображення [4]:

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

де f_{min} – мінімальна інтенсивності 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 $LQ = 1 - \left| \bar{f} - 128 \right| / 128$.

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.

6. Експериментальні результати

Для підвищення контрастності застосовано логарифмічне мультиплікативне контрастування зображення за формулою (14). Вибрано тестові зображення „Lena” та „Livingroom” розміром 256x256 пікселів, представлені на рис. 1а та 2а. Параметр k узагальненої моделі ЛОЗ вибирався адаптивно за формулами (18-20). Параметр p змінювався в діапазоні [1, 5] з кроком 1. Результати оцінки якості зображень за формулою (15) представлено на рис. 3-4.

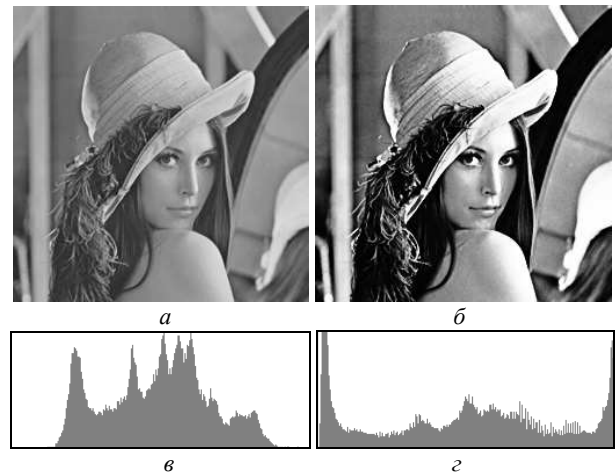


Рис. 1: Тестове зображення „Lena” (а) і його гістограма розподілу (б) та результат застосування оператора поліпшення якості зображення з адаптивним параметром k , обчисленим за формулою (19) для $p=3$ і його гістограма розподілу (г)

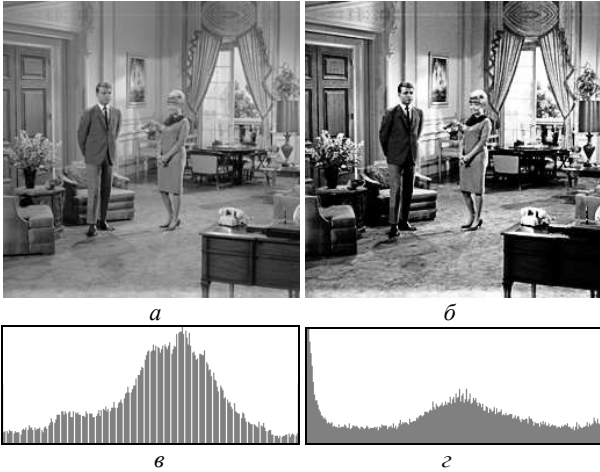


Рис. 2: Тестове зображення „Livingroom” (а) і його гістограма розподілу (б) та результат застосування оператора поліпшення якості зображення з адаптивним параметром k , обчисленим за формулою (19) для $p=3$ і його гістограма розподілу (з)

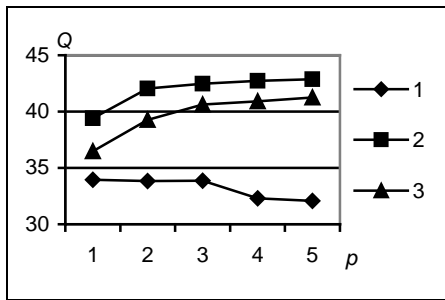


Рис. 3: Залежність оцінки якості Q зображення „Lena” від параметра логарифмічної моделі p після застосування оператора поліпшення якості зображення (14) для різних способів обчислення параметра k (1–3) за формулами (18-20) відповідно

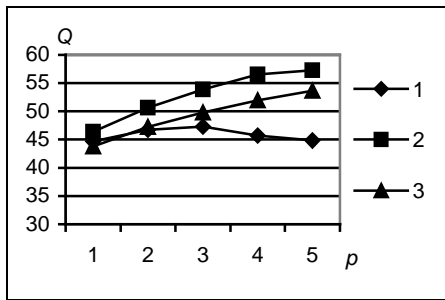


Рис. 4: Залежність оцінки якості Q зображення „Livingroom” від параметра логарифмічної моделі p після застосування адаптивного оператора поліпшення якості зображення (14) для різних способів обчислення параметра k (1–3) за формулами (18-20) відповідно

Експериментальні результати показали ефективність застосування підходу до адаптивного обчислення параметра k за формулою (19), що дає змогу підсилити ділянки зображення з середньою інтенсивністю.

7. Висновки

В роботі запропоновано новий адаптивний метод покращання зображень, що базується на логарифмічній моделі представлення зображень. Використання комбінації логарифмічних мультиплікативних операторів дозволяє підкреслити низькоконтрастні границі фрагментів зображення. Через вибір значень параметра логарифмічної моделі p і адаптивного параметра k можна значно покращувати якість зображень.

Література

- [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 // Доповіді 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. – Vol. 16. – No. 3. – P. 201–208.
- [7] Jourlin M., Pinoli J.-C. A model for logarithmic image processing // Département de Mathématiques. 1985. – No 3. – Université de Saint-Etienne, Décembre.
- [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] Pătrașcu 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] Pătrașcu 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, September 25–29, 2002. – Poland: Zakopane. – 2. – P. 596–601.
- [12] Zaharescu E. Morphological enhancement of medical images in a logarithmic image environment toolbox // 15th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2007, Sept. 2007, P. 2263–2266.