

УДК 681.325.5

Роман Воробель

Фізико-механічний інститут НАН України

## УЗАГАЛЬНЕНИЙ КОНТРАСТ ЗОБРАЖЕНЬ З РІВНОМІРНИМ ТА ПОКАЗНИКОВИМ РОЗПОДІЛАМИ ЯСКРАВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ

© Воробель Роман, 2001

**Розглянуто визначення узагальненого контрасту напівтонових монохроматичних зображень для випадку лінійного опису локальних контрастів та рівномірного і показникового розподілів яскравостей елементів.**

**Computation of the general contrast of monochrome halftone images for the case of linear evaluation of the local contrast and uniform as far as exponential distribution of elements' brightness are considered.**

**Вступ.** Одним з часто вживаних підходів до перетворення зображень, який використовують для поліпшення їх якості, є метод вирівнювання (еквалізації) гістограми яскравостей елементів [1]. У роботі [2] методи цього класу перетворень називають безінерційними нелінійними статистичними. Для їх реалізації здійснюють функціональне перетворення елементів вхідного зображення. Воно полягає у знаходженні такої функції перетворення рівнів яскравостей, яка б забезпечувала у перетвореному зображенні заданий закон розподілу яскравостей елементів. Як правило метою таких перетворень є поліпшення (зміна) якості через підсилення (пониження) контрасту зображення в цілому. За кількісну оцінку такого контрасту прийнято вважати узагальнений контраст [3]. У роботах [4, 5] встановлено спосіб обчислення узагальненого контрасту напівтонових монохроматичних зображень при лінійному описі локального контрасту його елементів за виразом

$$C_{gen} = \frac{1}{2LMAX} \int_0^{\infty} |2(L - \bar{L}) + LMAX - |2(L - \bar{L}) - LMAX|| \cdot p(L) dL, \quad (1)$$

де  $L$  – яскравість елемента зображення;  $\bar{L}$  – середньоарифметичне значення яскравостей елементів всього зображення;  $LMAX$  – максимально можлива яскравість елемента зображення  $L \in [0, LMAX]$ ;  $p(L)$  – густина розподілу яскравостей елементів зображення. Водночас у роботах [4, 6] показано, що узагальнений контраст є притаманною цьому функціональному перетворенню характеристикою. Він не залежить від контрасту, гістограми та сюжету вхідного напівтонового зображення. Ця властивість узагальненого контрасту відкриває можливість його визначення у випадку формування перетворених зображень з певним, наперед заданим законом розподілу яскравостей його елементів. Тому метою роботи є встановлення значення узагальненого контрасту монохромних напівтонових зображень, що мають елементи з яскравостями, розподіленими за рівномірним та показниковим законами.

**Визначення узагальненого контрасту функціонально перетвореного напівтонового монохроматичного зображення при лінійному описі локальних контрастів його елементів.** У роботах [5, 6] показано, що для всього класу нелінійних безінерційних статистичних перетворень узагальнений контраст перетворених зображень описується виразом

$$C_{gen} = \frac{1}{2LMAX} \int_0^1 \left| 2\{\psi(z) - M[L^*]\}_+ LMAX - \left| 2\{\psi(z) - M[L^*]\}_- LMAX \right| \right| \cdot dz, \quad (2)$$

де  $z = P_L$  – інтегральна функція розподілу яскравостей елементів вхідного зображення,  $\psi(z)$  – функція нелінійного перетворення розподілу яскравостей елементів зображення (обернена до заданої функції розподілу яскравостей перетворення зображення),  $L^*$  – яскравість елемента перетвореного зображення,  $M[L^*]$  – математичне сподівання яскравості перетвореного зображення. Однак цей вираз незручний для отримання розв'язку в аналітичному вигляді. Тому використаємо інше представлення узагальненого контрасту через контраст сюжетного зображення  $C_{ii0}$  з використанням еквіденситних полів (полів однакової яскравості) [4] як

$$C_{gen} = \int_0^\infty C_{ii0} |p(L)| dL, \quad (3)$$

$$\text{де } C_{ii0} = \begin{cases} \frac{2(L - \bar{L})}{LMAX} & \text{при } |L - \bar{L}| \leq LMAX/2, \\ 1 & \text{при } |L - \bar{L}| > LMAX/2. \end{cases} \quad (4)$$

Це дозволяє представити вираз (3) як

$$C_{gen} = C_{gen}^{(1)} + C_{gen}^{(2)}, \quad (5)$$

де

$$C_{gen}^{(1)} = \begin{cases} \frac{2}{LMAX} \int_0^1 |\psi(z) - M[L^*]| dz & \text{при } \psi(z) - M[L^*] \leq LMAX/2, \\ 0 & \text{при } \psi(z) - M[L^*] > LMAX/2, \end{cases} \quad (6)$$

$$C_{gen}^{(2)} = \begin{cases} 1 & \text{при } \psi(z) - M[L^*] > LMAX/2, \\ 0 & \text{при } \psi(z) - M[L^*] \leq LMAX/2. \end{cases} \quad (7)$$

Аналіз компонент (6) і (7) виразу (5) показує, що  $C_{gen}$  не залежить від контрасту, розподілу яскравостей та сюжету вхідного зображення і є характеристикою конкретного структурного перетворення, що визначається заданою функцією  $P_L^*$  розподілу яскравостей перетвореного зображення. Тому ця властивість дає можливість обчислити узагальнений контраст зображень після їх статистичних перетворень з метою отримання заданого закону розподілу яскравостей елементів.

При обробці зображень часто застосовують функціональні перетворення, що забезпечують рівномірний та показниковий розподіли в перетвореному зображенні [7]. Тому розглянемо обчислення узагальненого контрасту зображень, отриманих при таких перетвореннях, використовуючи лінійний опис визначення контрастності елементів [8].

**Перетворення зображень з метою отримання рівномірного розподілу.** Для обчислення контрасту функціонально перетворених зображень потрібно знати функцію  $\psi(z)$ ,

обернено до заданої функції розподілу  $P_{L^*}$  і математичне сподівання  $M[L^*]$ . Оберненою до функції, що забезпечує рівномірний розподіл, є функція  $\psi(z) = x$ . У той же час математичне сподівання рівномірно розподілених чисел на проміжку  $x \in [0,1]$   $M[x] = 0,5$  при  $LMAX = 1$ . Враховуючи це, можемо записати, що узагальнений контраст перетвореного зображення (3) визначається за виразом (5) з компонентами

$$C_{gen}^{(1)} = \begin{cases} 2 \int_0^1 |z - 0,5| dz & \text{при } z - 0,5 \leq 0,5, \\ 0 & \text{при } z - 0,5 > 0,5, \end{cases}$$

і

$$C_{gen}^{(2)} = \begin{cases} 1 & \text{при } z - 0,5 > 0,5, \\ 0 & \text{при } z - 0,5 \leq 0,5, \end{cases}$$

або

$$C_{gen}^{(1)} = \begin{cases} 2 \int_0^1 |z - 0,5| dz & \text{при } z \leq 1, \\ 0 & \text{при } z > 1 \end{cases}$$

і

$$C_{gen}^{(2)} = \begin{cases} 1 & \text{при } z > 1, \\ 0 & \text{при } z \leq 1. \end{cases}$$

Оскільки  $0 < z \leq 1$ , то  $C_{gen}^{(2)} = 0$ . Підставивши  $C_{gen}^{(1)}$  і  $C_{gen}^{(2)}$  в (5), отримуємо

$$C_{gen} = 2 \int_0^1 |z - 0,5| dz = 0,5. \quad (8)$$

Отже, контраст напівтонових зображень, що мають рівномірний розподіл значень яскравостей елементів, дорівнює 0,5.

**Перетворення зображень з метою отримання показникового розподілу.** Для показникового розподілу інтегральна функція розподілу визначається виразом  $P(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ , де  $\lambda$  – параметр розподілу (інтенсивність потоку подій). Тому оберненою до такої функції є функція  $\psi(z)$ , що є розв'язком відносно  $z$  рівняння  $z = 1 - e^{-\lambda z}$ , тобто

$$\psi(z) = -\frac{\ln(1-z)}{\lambda}. \quad (9)$$

Математичне сподівання для показникового розподілу визначається як  $M[L^*] = 1/\lambda$ . Тому вираз для узагальненого контрасту зображення після перетворення, що забезпечує показниковий розподіл елементів, можна записати як

$$C_{gen} = \begin{cases} \frac{2}{LMAX} \int_0^1 |\psi(z) - M[L^*]| dz & \text{при } \left| \frac{\psi(z) - M[L^*]}{LMAX/2} \right| \leq 1, \\ 1 & \text{при } \left| \frac{\psi(z) - M[L^*]}{LMAX/2} \right| > 1. \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{при } \left| \frac{\psi(z) - M[L^*]}{LMAX/2} \right| > 1. \quad (11)$$

Розглянемо першу складову  $C_{gen}^{(1)}$  виразу для  $C_{gen}$  (10). Підставивши  $\psi(z)$  та  $M[L^*]$ , отримуємо

$$\begin{aligned} C_{gen} &= \frac{2}{LMAX} \int_0^1 |\psi(z) - M[L^*]| dz = \frac{2}{\lambda \cdot LMAX} \int_0^1 |-\ln(1-z) - 1| dz = \\ &= \frac{2}{\lambda \cdot LMAX} \int_0^1 |\ln(1-z) + 1| dz = \frac{4}{\lambda \cdot e \cdot LMAX}, \end{aligned} \quad (12)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма.

Проаналізуємо дотримання умови у виразі (10). Для цього представимо її у вигляді

$$-1 \leq \frac{2}{\lambda \cdot LMAX} |-\ln(1-z) - 1| \leq 1,$$

звідки

$$1 - e^{-\frac{\lambda \cdot LMAX}{2} - 1} \leq z \leq 1 - e^{-\frac{\lambda \cdot LMAX}{2} - 1}. \quad (13)$$

При  $\lambda > 0$   $0 < e^{-\frac{\lambda \cdot LMAX}{2} - 1} < 1$ , тому  $z \leq 1$ . Діапазон зміни  $z$  такий, що  $z \in [0,1]$ . Тому необхідно, щоб

$$1 - e^{-\frac{\lambda \cdot LMAX}{2} - 1} \leq 0, \quad (14)$$

звідки  $e^{-\frac{\lambda \cdot LMAX}{2} - 1} \geq 1$ . Прологарифмувавши цей вираз, отримаємо  $\lambda \cdot LMAX/2 - 1 \geq \ln 1$ , або  $\lambda \cdot LMAX/2 \geq 1$ , звідки

$$\boxed{\lambda \cdot LMAX/2 \geq 1}. \quad (15)$$

при

$$\lambda > \frac{2}{LMAX} \quad (16)$$

умова у виразі (14) справджується завжди. Оскільки величина  $z$  означає імовірність, то не може бути  $z < 0$ . Тому лівою частиною нерівності (13), яка виконується при дотриманні вимоги (16), можна знехтувати. У той же час права частина нерівності (13) справджується завжди при  $\lambda > 0$ . Тобто можемо вважати, що нерівність (13) справджується завжди, коли  $\lambda$  задовольняє умові (16). Це означає, що за таких умов нерівність (10) виконується завжди, а нерівністю (11) можна знехтувати через відсутність умов її існування, тобто  $C_{gen}^{(2)} = 0$ . Це дозволяє визначати результуючий узагальнений контраст  $C_{gen}$  зображення, елементи якого

$$\text{мають показниковий розподіл, як} \quad C_{gen} = C_{gen}^{(1)} + C_{gen}^{(2)} = \frac{4}{\lambda \cdot e \cdot LMAX}, \quad (17)$$

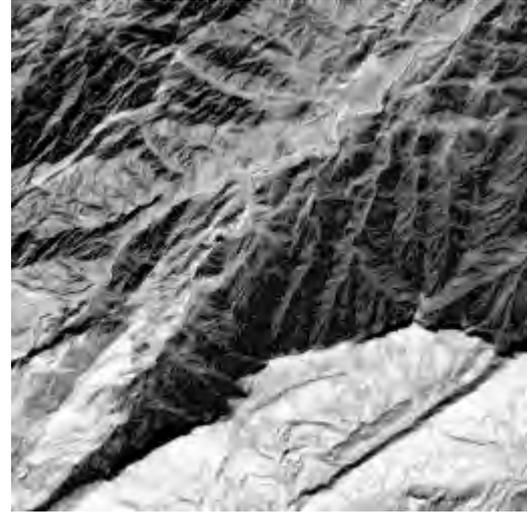
де параметр  $\lambda$  має задовольняти умову (16).

При  $LMAX = 255$  і  $\lambda = 0,04$  з (17) отримуємо, що для показникового розподілу узагальнений контраст  $C_{gen} = 0,14$ .

**Експериментальні дослідження.** Для підтвердження отриманих результатів на рисунку показано два різні напівтонові зображення розміром  $256 \times 256 \times 8$ : аерокосмічне зображення поверхні Землі (а) з узагальненим контрастом  $C_{gen} = 0,240$  та зображення Лєни (в) з узагальненим контрастом  $C_{gen} = 0,343$ .



а



б



в



г

*Ілюстрація застосування методу вирівнювання гістограми розподілу яскравостей елементів при обробці зображень (а, в) для визначення узагальненого контрасту  $C_{gen}$  перетворених зображень (б, г)*

Узагальнений контраст  $C_{gen}$  обчислювали за виразом (1). Після перетворення цих обох зображень з метою глобального вирівнювання гістограми отримано зображення, що показані на рис. б, г відповідно. Характерною рисою цих різних за сюжетом та структурою зображень є те, що вони після перетворення мають однаковий контраст (8) 0,500, бо розподіл яскравостей елементів у них однаковий – він рівномірний. Цей результат підтверджує твердження про статистичну незалежність узагальненого контрасту перетвореного зображення від гістограми, сюжету і контрасту перетворюваного зображення.

**Висновок.** При лінійному описі визначення контрастності елементів [8] узагальнений контраст зображення після безінерційних нелінійних статистичних перетворень не залежить від сюжету перетворюваного зображення, його контрасту та гістограми, а є характеристикою цього перетворення. Це дозволяє обчислювати його наперед. Узагальнений контраст зображень з яскравостями елементів, що розподілені за рівномірним законом, дорівнює 0,5. У випадку ж показникового розподілу його визначають за виразом (17).

1. Hall E.L. *Almost Uniform Distribution for Computer Image Enhancement*. // *IEEE Trans. on Computers*. – 1974. – Vol.23, № 2. – P. 207–208. 2. Нестерук В.Ф. *Вопросы построения нелинейных статистических алгоритмов обработки изображений* // *Оптический журнал*. – 1992. – № 12. – С. 52 – 64. 3. Мирошников М.М. *Теоретические основы оптико-электронных приборов*. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с. 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. Воробель Р.А. *Цифрова обробка зображень на основі теорії контрастності* // Автореф. дис. д-ра техн. наук Львів: ДНДІ ІІ, 1999. – 33 с. 6. Воробель Р. *Визначення узагальненого контрасту функціонально перетворених зображень при лінійному описі контрасту його елементів* // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”* 2000. – № 413. – С. 61–68. 7. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. М.: Мир, 1982. – 790 с. 8. Воробель Р.А. *Лінійний опис визначення контрастності елементів зображення* // *Доп. НАН України*. – 1998. – № 1. – С. 127 – 131.

УДК 621.384.3

**Віталій Гой, Зенон Грицьків, Петро Кондратов**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

## **БАГАТОПОЛЬОВІ РОБОЧІ ЦИКЛИ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ**

© Гой Віталій, Грицьків Зенон, Кондратов Петро, 2001

Проведено порівняльний аналіз відомих та запропоновано нові варіанти реалізації багатопольового робочого циклу піровідиконної тепловізійної камери для звичайного піровідикона та РЕМЕТ відикона, які враховують особливості обробки відеосигналу та режиму роботи фокусууючо-відхилювальної системи, забезпечують простоту схемотехніки, покращання чутливості і просторової роздільної здатності.

The comparative analysis of the known operating cycle variants is performed for infrared cameras based on pyroelectric vidicon and PEMET vidicon. There are considered new multi-field operating cycles which take into account peculiarities of signal processing and focus-deflection system operating mode, provide simple design, improve sensitivity and spatial resolution.

**Вступ.** Робочий цикл тепловізійної камери (ТК) на основі піровідикона суттєво відрізняється від такої звичайної передавальної відиконної тепловізійної камери видимого