

# Підвищення візуальної якості затемнених деталей на зображенні

Роман Воробель, Ігор Журавель, Наталія Опур

Фізико-механічний інститут НАН України, 79601, Львів, Наукова 5,  
vorobel@ah.ipm.lviv.ua, zuravel@ipm.lviv.ua, nopyr@ipm.lviv.ua, тел. (0322) 65 4803

Roman Vorobel, Igor Zhuravel, Natalia Opyr. Increase the visual quality of darken components on image. The article is devoted to methods, connected with enhancement of visual quality of darken components on image. The method of histogram equalization by using a model of image perception and contrast enhancement method based on statistical estimators of local regions are offered. The results of test of proposed image processing are shown.

## 1. Вступ

Одним з найбільш зручних способів представлення інформації є зображення. Їх часто використовують при неруйнівному контролі, медичній діагностиці та дистанційному зондуванні Землі. Проте часто їх спільним недоліком є низький контраст. Це пояснюється недосконалістю систем отримання та передачі інформації, наявністю завод та ін. Тому підвищення достовірності прийняття рішень на підставі цих зображень вимагає їх покращання.

Системи покращання зображень спрямовані на те, щоб поліпшити візуальне сприйняття зображення або перетворити його в форму більш придатну для візуального чи машинного аналізу. При комп'ютерній обробці покращання зображення як правило має за мету отримання максимальної інформації про об'єкт зацікавлення. Основним споживачем цієї інформації при візуальному аналізі є людина. А система сприйняття зображень людини погано реагує на зміну яскравості в області їх малих значень (затемнених ділянках).

Узагальнюючи методи поліпшення якості зображень зазначимо, що основними підходами до поліпшення зображень є використання непрямих методів підвищення контрастності зображень шляхом табличних, гістограмних чи рангових перетворень та методів нерізкого маскування, а також застосування методів безпосереднього визначення локальних контрастів [1]. Серед цієї множини підходів виділимо два, а саме методи гістограмних перетворень та методи перетворення локального контрасту. Вони пов'язані з можливістю врахування як сприйняття зображень людиною, так і текстури зображень. Опишемо способи підвищення їх ефективності та проаналізуємо отримані результати.

## 2. Модифікація методу гістограмних перетворень

Підхід до модифікації гістограмних перетворень запропоновано у роботі [2]. Він дозволяє виділяти окремі дрібні деталі та структуру затемнених деталей на зображенні.

Запропоновані гістограмні перетворення [2] використовують модель сприйняття зображення людиною [3], в якій залежність порогу чутливості від яскравості описується аналітичним виразом

$$\Delta L = \begin{cases} \beta \left( \frac{\Delta L}{L} \right)_{\max} \sqrt{L} \sqrt{L_{x_1}}, & \text{для } L_{\min} > L \geq L_{x_1}, \\ \beta \left( \frac{\Delta L}{L} \right)_{\max} L, & \text{для } L_{x_2} > L \geq L_{x_1}, \\ \beta \left( \frac{\Delta L}{L} \right)_{\max} L^2 \frac{1}{L_{x_2}}, & \text{для } L \geq L_{x_2}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $L_{\min}$  - мінімальна яскравість; інтервал  $[L_{\min}, L_{x_1}]$  відповідає області де Вріз-Роз, низької чутливості, близької до абсолютного візуального порогу сприйняття; проміжок  $[L_{x_1}, L_{x_2}]$  відповідає області Вебера, а  $L \geq L_{x_2}$  - області насичення. Параметр  $\beta$  враховує величину постійного порогу в області Вебера і розміри об'єкта.

Аналітичні вирази для знаходження вихідних яскравостей залежать від інтегралів на відповідних проміжках. Для спрощення запису результуючих виразів введемо позначення:

$$I_1 = \int_{L_{\min}}^{L_{x_1}} P_L dL, \quad I_2 = \int_{L_{x_1}}^{L_{x_2}} P_L dL, \quad I_3 = \int_{L_{x_2}}^{L_{\max}} P_L dL, \\ I_{\Sigma} = J_{\max} / \sqrt{2I_2 + I_1 + 4I_3} \quad (2)$$

Для рівномірного закону розподілу вихідних яскравостей і з врахуванням, що він розтягується до інтервалу  $[0, J_{\max}]$ , для кожного проміжку нами отримані такі аналітичні залежності для вихідних величин яскравостей:

для проміжку  $[L_{\min}, L_{x_1}]$  -

$$J = I_{\Sigma} \left( \int_{L_{\min}}^L P_L dL \right)^2 / \left( (\sqrt{2I_2 + I_1}) I_1 \right), \quad (3)$$

для проміжку  $[L_{x_1}, L_{x_2}] -$

$$J = \left( 2 \int_{L_{x_1}}^L P_L dL + I_1 \right) I_{\Sigma} / \sqrt{(2I_2 + I_1)} \quad , \quad (4)$$

для проміжку  $[L_{x_2}, L_{\max}] -$

$$J = I_{\Sigma} \sqrt{2I_2 + I_1 + 4 \int_{L_{x_2}}^L P_L dL} \quad . \quad (5)$$

Зауважимо, що для побудови числових алгоритмів відповідні інтеграли замінюють сумами:

$$\int_{L_{\min}}^L P_L dL = \sum_{W=L_{\min}}^L P_W W, \quad \text{і т.д.}, \quad (6)$$

де  $P_W$  – частота  $W$ -ї яскравості.

Щоб повернутися до скоректованих вхідних яскравостей, необхідно використати обернену функцію

$$L^* = F^{-1}(J).$$

Обернену функцію із співвідношень (3-5) не вдається отримати в явному вигляді, тому скористаємося табличним представленням з відповідною інтерполяцією для проміжних точок. Найпростіше використовувати лінійну інтерполяцію. Але з метою зменшення похибок (і знаючи приблизний вигляд функції перетворення) кращий результат дає квадратична інтерполяція.

На рис.1 приведено тестове зображення, що має 256 градацій рівнів сірого, на якому об'єкти зацікавлення є затемнені. Використовуючи

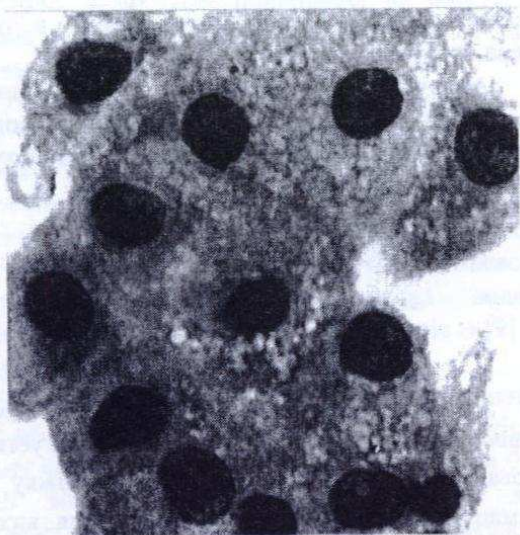


Рис. 1. Вхідне зображення

запропонований метод при  $L_{x_1}=40$  і  $L_{x_2}=240$  отримуємо зображення, що подане на рис. 2.

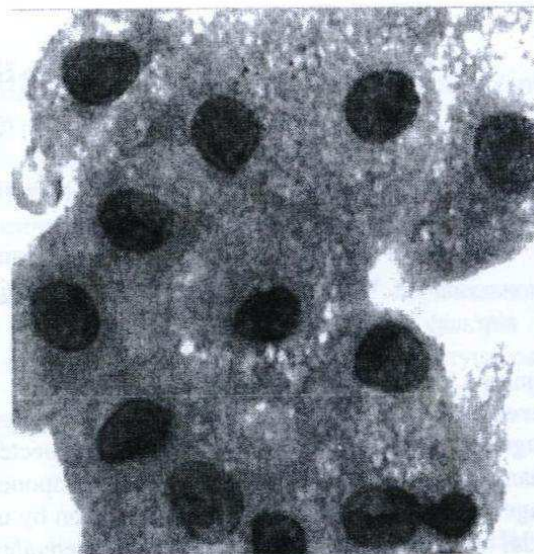


Рис.2. Зображення оброблене запропонованим методом

Для зображення що на рис. 2 відповідні пряма і обернена функції перетворення представлені на рис. 3а і 3б.

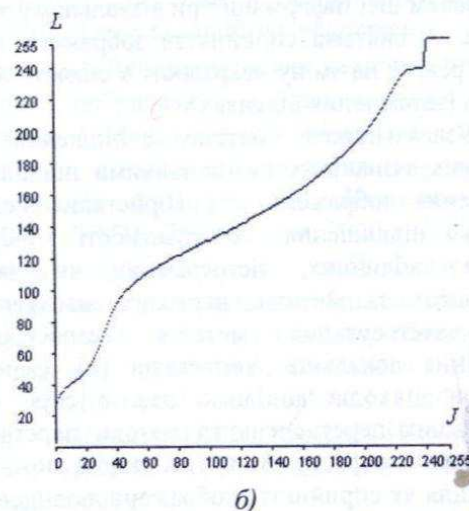
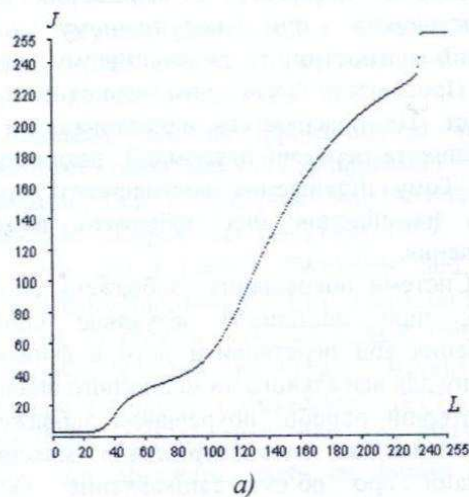


Рис.3. Пряма (а) і обернена (б) функції перетворення

З аналізу вигляду функції перетворення випливає, що вхідні яскравості які відповідають затемненій області - підсилені. Тому в області малих інтенсивностей об'єкти зацікавлення стали видимими (див. рис 2).

Задаючи параметри  $L_{x_1}$  і  $L_{x_2}$ , які вибирають в залежності від характеристик монітора і суб'єктивності системи сприйняття оператора, можемо керувати процесом еквалізації гістограм при побудові алгоритмів обробки зображень.

## 2. Модифікація методу перетворень локального контрасту

В роботі [4] запропонована оригінальна технологія підвищення якості зображень через підсилення локальних контрастів. Її суть полягає у визначенні числового значення локального контрасту для певного елемента зображення, нелінійному його підсиленні та відновленні цього ж елемента зі зміненою яскравістю, яка забезпечує в порівнянні з вхідним зображенням підсилення локального контрасту. Структурна процедура підсилення локального контрасту складається з трьох основних етапів і використовується для кожного елемента  $L(i, j)$  з координатами  $(i, j)$  вхідного зображення  $L$ ,  $L(i, j) \in L$ .

На першому етапі обчислюється локальний контраст елемента. Для цього в [4] запропоновано використовувати вираз

$$C(i, j) = \frac{|\bar{L}_1(i, j) - \bar{L}_2(i, j)|}{\bar{L}_1(i, j) + \bar{L}_2(i, j)}, \quad (7)$$

де

$$\bar{L}_1(i, j) = \frac{1}{n^2} \sum_{(i, j) \in R_1} L(i, j), \quad (8)$$

$$\bar{L}_2(i, j) = \frac{1}{m^2} \sum_{(i, j) \in R_2} L(i, j), \quad (9)$$

а  $m = 3n$ ,  $n > 1$ . Як області  $R_1$  і  $R_2$  використовуються ковзні вікна у вигляді квадрата з центром в елементі з координатами  $(i, j)$ , причому вікно  $R_1$  є в середині вікна  $R_2$ .

На другому етапі здійснюється нелінійне підсилення локального контрасту

$$C^*(i, j) = \varphi[C(i, j)], \quad (10)$$

де  $\varphi[C(i, j)]$  - нелінійна монотонна функція, яка має задовольняти умовам

$$C(i, j) \in [0, 1], \quad \varphi[C(i, j)] \geq C(i, j), \quad \varphi[C(i, j)] \in [0, 1], \quad (11)$$

тобто функція  $\varphi[C(i, j)]$  є монотонно зростаючою і визначеною на проміжку  $[0, 1]$ . За такі функції приймаються степеневі, експоненційні, логарифмічні та гіперболічні функції.

На третьому етапі відновлюється елемент з координатами  $(i, j)$ , але з усередненою яскравістю  $\bar{L}_1(i, j)$ , яка забезпечує підсилення локального контрасту. Для цього проводяться обчислення за формулами

$$\bar{L}_1^*(i, j) = \begin{cases} \bar{L}_2(i, j) \frac{1 - C(i, j)}{1 + C(i, j)} & \text{при } \bar{L}_1(i, j) \leq \bar{L}_2(i, j), \\ \bar{L}_2(i, j) \frac{1 + C(i, j)}{1 - C(i, j)} & \text{при } \bar{L}_1(i, j) > \bar{L}_2(i, j). \end{cases} \quad (12)$$

Обчислення виразу (12) повторюють для кожного елемента вхідного зображення  $L$ . Однак більш ефективним є використання не усередненого значення  $\bar{L}_1$  як яскравості елемента, для якого обчислюється локальний контраст (7), а безпосереднього значення яскравості центрального елемента  $L(i, j)$  області  $R_1$ , що відповідає випадку вибору області  $R_1$  з розміром сторони квадрата  $n = 1$ .

Надалі вважатимемо, що (при  $n = 1$ )

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}_2(i, j)|}{L(i, j) + \bar{L}_2(i, j)} \quad (13)$$

та

$$L^*(i, j) = \begin{cases} \bar{L}_2(i, j) \frac{1 - C(i, j)}{1 + C(i, j)} & \text{при } L(i, j) \leq \bar{L}_2(i, j), \\ \bar{L}_2(i, j) \frac{1 + C(i, j)}{1 - C(i, j)} & \text{при } L(i, j) > \bar{L}_2(i, j). \end{cases} \quad (14)$$

Однак використання описаного методу показує, що його ефективність недостатня для обробки зображень, які містять дрібні деталі. Причиною цього є те, що локальний контраст визначається за формулою (7) чи її частковим випадком (13). Згідно виразу (13) локальний контраст елемента зображення розглядається як міра його відмінності від оточуючого фону. Складовими виразу (13) є безпосередні величини елементів чи їх усереднені значення, що призводить до неповного опису текстури локальної області.

Найбільш повно такі характеристики текстури як однорідність, шорсткість та зернистість описуються статистичними методами.

Одним з найбільш простих методів опису текстури є використання моментів гістограми інтенсивності. Нехай  $L$  - випадкова величина, яка визначає дискретну інтенсивність зображення,  $H(L(i, j))$  - відповідні значення гістограми. Відомо,

що  $n$ -й момент  $L(i, j)$  відносно середнього значення визначається формулою

$$\mu_n(L) = \sum_{(i,j) \in R_2} (L(i,j) - \bar{L})^2 H(L(i,j)), \quad (15)$$

де  $\bar{L}$  - середнє значення яскравостей елементів локального околу  $R_2$  (знаходиться аналогічно виразу (9)).

З виразу (15) випливає, що  $\mu_0 = 1$ , а  $\mu_1 = 0$ . Другий момент, який називається дисперсією і позначається як  $\sigma^2(L)$ , важливий для опису текстури. Він є мірою контрасту інтенсивності і застосовується для опису однорідності поверхонь. Так у роботі [5] за міру контрасту текстури запропоновано використовувати величину

$$C(i, j) = 1 - \frac{1}{1 + k\sigma^2(L)}, \quad (16)$$

де  $\sigma^2(L)$  - дисперсія в околі  $3 \times 3$ ,  $k=0.8$  - коефіцієнт регуляризації. Величина  $C(i, j)$  рівна нулю для околів з постійною інтенсивністю і наближається до одиниці для великих значень  $\sigma^2(L)$ . Ця властивість виразу (16) повністю відповідає вимогам визначення локального контрасту. Тому, за аналогією з описаним відомим підходом до перетворення локального контрасту, нами запропоновано використовувати в ньому міру контрасту, яка визначається за виразом (16).

Отже, в запропонованому методі на його першому етапі для кожного елемента зображення обчислюємо локальний контраст, використовуючи вираз (16).

На другому етапі здійснюємо таке ж нелінійне перетворення (10) локального контрасту  $C(i, j)$ .

На третьому етапі відновлюємо зображення шляхом визначення нового значення яскравості  $L^*(i, j)$  елемента з координатами  $(i, j)$ . Для цього використовуємо вираз, який знаходимо з формули (16):

$$L^*(i, j) = \bar{L}(i, j) + \left( \frac{C^*(i, j) * n * m}{1 - C^*(i, j)} - \sum_{(i,j) \in R_2 - R_1} (\bar{L}(i, j) - L(i, j))^2 H(L(i, j)) \right)^{0.5} \quad (17)$$

Описану процедуру повторюємо для кожного елемента зображення. Використання запропонованого методу проілюстровано на рис. 4, де показано результат обробки вхідного зображення, що на рис. 2.

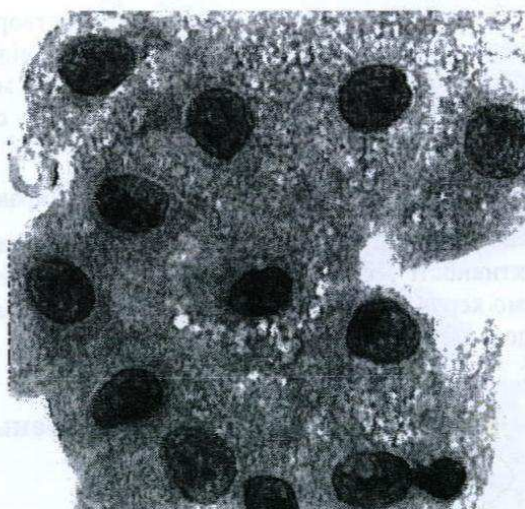


Рис.4. Зображення, що на рис. 2, оброблене методом підсилення локальних контрастів.

### 3. Висновки

Результати моделювання запропонованих методів модифікації гістограмних перетворень та перетворення локальних контрастів показали, що для виділення затемнених ділянок, що є об'єктом зацікавлення, доцільно спочатку використовувати гістограмні перетворення, які підвищують розрізнюваність деталей об'єктів, а потім проводити перетворення локальних контрастів, що збільшують різницю яскравостей в локальних околах. За допомогою такої технології обробки зростає інформативність слабкоконтрастних зображень.

1. Воробель Р.А. Цифрова обробка зображень на основі теорії контрастності. Автореф. дис. ... д.т.н. Львів: ДНДІ ІІ, 1999. - 33 с.
2. Опир Н.В. Еквалізація гістограм на основі апроксимаційної моделі сприйняття. Відбір і обробка інформації. 2000. - Вип. 14(90). - С.17-22.
3. Kundu S.K. Pal M.K. A note on gray level-intensity transformation: effect on HVS thresholding// Pattern Recognition Letter. 1988. - V.8. - P. 257-269.
4. Dhawan A.P., Buelloni G., Gordon R. Enhancement of mammographic features by optimal adaptive neighbourhood image processing. IEEE Trans. Med. Imaging. 1986. - V.5. - P. 8-15.
5. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. - 624 с.