

## ВИБІР МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

ã Ваврук Є., Грицик І., 2008

**Проаналізовано методи опрацювання зображень, визначено критерії оцінки та вибраний метод покращання якості зображень.**

**Images processing methods are analysed, criteria of a rating are determined. The method of improvement of images quality is chosen.**

**Вступ.** У багатьох галузях промисловості, науки і техніки необхідно приймати рішення за результатами візуальної якості зображення. Зокрема, аналіз результатів роботи діагностичних систем у задачах неруйнівного контролю, томографії, рентгеноскопії тощо ґрунтується на візуалізації інформації про стан, відповідно, механізмів та пристроїв чи організму пацієнта, яка подається у вигляді зображень. Залежно від впливу зовнішніх факторів, вибраних алгоритмів і характеристик апаратних засобів якість зображення може бути недостатньою для точного встановлення діагнозу. Крім того, необхідно зважати і на фізіологічний стан оператора, який повинен приймати рішення. Все це вказує на важливість вирішення проблеми покращання якості зображень та актуальність досліджень у цьому напрямку.

**Аналіз методів опрацювання зображень стосовно їх візуальної якості.** Методи опрацювання зображень з метою зміни їх візуальної якості розділяють на два класи [1,2]: методи опрацювання в частотній області та просторовій області.

Перші методи ґрунтуються на відповідних моделях зору людини, найуживанішою з яких є модель Стокхема. Вона показує, що ефективну зміну візуальної якості зображення можна здійснювати через зміну двох основних складових – низькочастотної (фонові) та високочастотної (детальної), тобто з використанням методів лінійної (гоморфної) фільтрації. Хоча даний підхід є складним (вимагає виконання прямого і зворотного перетворень Фур'є), проте він добре ілюструє спорідненість задач опрацювання зображення і класичної теорії опрацювання сигналів, бо саме в ній лінійній фільтрації відведено найбільше значення. Є також цілий клас методів, пов'язаних з підвищенням якості зображень шляхом їх відновлення через розв'язання обернених задач [3]. Ці методи є складовою частиною ширшого розв'язання некоректних задач відновлення зображень, а також реконструкцію зображень за проекціями.

Інший підхід до опрацювання зображень з метою покращання їх візуальної якості полягає в безпосередньому використанні і синтезі одновимірних і двовимірних фільтрів. Проте більшою мірою ці роботи стосуються опрацювання зображень в частотній області, що вимагає значних затрат часу.

Аналіз [3] показує, що хоча використання фільтрації зображень з метою підвищення їх візуальної якості у разі забезпечення високої швидкодії, є найраціональнішим під час реалізації в просторовій області. Проте, наявні алгоритмічні засоби опрацювання є недостатньо ефективними. Одним з найпростіших методів перетворення зображень з метою зміни їх візуальної якості в просторовій області є градаційна корекція. Ідея градаційної корекції полягає в коригуванні недоліків системи, за допомогою якої було сформовано зображення. Для підвищення візуальної якості монохромних напівтонових зображень використовується лінійний розтяг. Використовують також гауссівський розтяг і кусково-лінійний, сформований оператором в діалоговому режимі. Враховуючи методи цього класу, формують також табличні перетворення з метою отримання

гістограмою розподілу яскравостей перетвореного зображення певного закону, зокрема рівномірного. Цей клас методів отримав назву гістограмних. До того ж ще клас методів, який називають методами рангових перетворень, для яких метод вирівнювання гістограми є частковим випадком. Методи рангових перетворень своєю чергою частково перетинаються з різницеvими методами (методи нерізкого маскуvання). Наведені методи опрацюvання зображень та методи перетворення локальних контрастів, які розроблені в останні роки, є основними в просторовій області.

Спільною позитивною ознакою розглянутих методів є придатність для швидкого опрацюvання в масштабі реального часу, а недоліком – обмеженість функціональних можливостей та недостатня ефективність. Основою цих методів є локальна відмінність елементів зображень, тобто їх локальний контраст. Завдяки цьому можна створювати їх нові класи та значно розширити функціональні можливості.

**Постановка задачі.** У відомих методах не повністю враховуються особливості ковзних околів у разі перетворення локальних контрастів, що призводить до недостатнього контрастування потенційно інформативних ділянок. Тому актуальною є розробка методів підсилення локальних контрастів з адаптацією до характеристик ковзних околів. Детальний аналіз величин яскравостей елементів зображень у локальних областях дає змогу виділяти потенційно інформативні ділянки, і відповідно їх обробляти. Такий локально-адаптивний підхід є необхідний для розв'язання задач підвищення детальності, чіткості, контрастності та різкості зображень.

**Огляд основних методів адаптивного підвищення якості зображень.** Основними методами адаптивного підвищення візуальної якості зображень є [2]:

- метод адаптивного підвищення контрастності з використанням ентропії;
- метод адаптивного підвищення контрастності з використанням середньоквадратичного відхилення яскравості елементів області.
- метод нелінійного розтягу локальних контрастів.

Метод адаптивного підвищення контрастності з використанням ентропії. Метод є ефективним для опрацюvання зображень, що містять рівномірну гістограму розподілення яскравості і не містять шуму. Суть методу полягає в адаптивному перетворенні локальних контрастів, особливістю якого є застосування ентропії для їх аналізу, за допомогою якої можна охарактеризувати гладкість локальних ділянок. Функція перетворення локальних контрастів формується на основі міри апіорної невизначеності значень яскравості елементів ділянки.

Процес опрацюvання визначається послідовністю етапів, а саме:

1. Для кожної точки вхідного зображення  $(i,j)$  обчислюється значення локального контрасту за формулою (1)

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}(i, j)|}{L(i, j) + \bar{L}(i, j)}, \quad (1)$$

де  $L(i,j)$  – яскравість в точці  $(i,j)$ ,  $\bar{L}(i, j)$  – середнє значення яскравості зображення.

2. Для області  $W$  розміром  $m*n$  із значеннями  $L(i,j)$  одержуємо значення локальної етропії  $e$  згідно з виразом (2)

$$e = \sum_{(i, j) \in L} (P(i, j) \log_2(P(i, j)) / \log_2(nm)), \quad (2)$$

де 
$$P(i, j) = \frac{H(L(i, j))}{nm} \quad (3)$$

де  $H(L(i, j))$  – значення гістограми для елемента із значенням яскравості  $L(i, j)$ ;  $n$  і  $m$  – відповідно, висота і ширина зображення.

3. Обчислюємо степеневе перетворення локального контрасту за формулою (4)

$$C^*(i, j) = C(i, j)^{a_{\min} + (a_{\max} - a_{\min})((e(i, j) - e_{\min}) / (e_{\max} - e_{\min}))^s} \quad (4)$$

де  $e_{\max}, e_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення ентропії області  $W$  розміром  $m*n$  елементів,  $s>1$  – параметр нелінійного підсилення контрасту,  $a_{\max}, a_{\min}$  – мінімальне та максимальне значення функції розтягу гістограми.

4. Відновлюємо зображення за виразом, оберненим до виразу (1).

Метод адаптивного підвищення контрастності з використанням середньоквадратичного відхилення яскравостей елементів області. Метод ґрунтується на аналізі локальних контрастів на основі середньоквадратичного відхилення яскравості елементів локальної області  $W$  відносно центрального елемента з яскравістю  $L(i, j)$ , що дасть змогу сформувати функцію нелінійного перетворення локальних контрастів яскравості елементів зображення.

Введемо значення показника степеня згідно з виразом (5)

$$a = a_{\max} - K \frac{\bar{L}}{s(i, j)} \quad (5)$$

де  $K$  – нормуючий коефіцієнт,  $0 < K < 1$ ;  $\bar{L}$  – середньоарифметичне значення яскравості вхідного зображення.

Відповідно

$$\bar{L} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M L(i, j) \quad (6)$$

де  $N, M$  – розміри зображення ( $i = 1..N, j = 1..M$ ),  $L(i, j)$  – яскравість в точці  $(i, j)$ ;  $s(i, j)$  – середньоквадратичне відхилення значень яскравостей в деякій області  $W$  із центром в точці  $(i, j)$ .

$$s(i, j) = \left( \frac{1}{mn} \sum_{a=-\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{b=-\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} [L(i+a, j+b) - \bar{L}(i, j)]^2 \right)^{0.5} \quad (7)$$

Формула (7) описує принцип підвищення контрасту. Якщо елементи області  $W$  мало відрізняються від значення центрального, середньоквадратичне відхилення близьке до мінімального значення, і згідно з виразом (5) значення  $a$  значно менше від  $a_{\max}$ , що відповідає збільшенню контрасту. Коли значення елементів області дуже відрізняються від центрального, це призводить до збільшення значення середньоквадратичного відхилення, що своєю чергою впливає на значення вищезгаданого співвідношення у виразі (5). Тоді великого підвищення контрасту не відбувається. До того ж у виразі (5) на параметр  $a$  встановлюються обмеження  $0 < a < 1$ .

Цей метод дає змогу краще виконати адаптивне підвищення контрасту зображення, оскільки в ньому присутні параметри, які регулюють адаптацію до ділянки  $W$ , де розташований заданий елемент зображення. Значення нормуючого коефіцієнта напряму залежить від значень середньоквадратичного відхилення, оскільки він істотно впливає на ефективність цього методу. Крім того, використання глобального середньоарифметичного значення яскравості дозволяє адаптувати заданий метод до зображень довільного вигляду. Фактично використання середньоквадратичного відхилення, як якісної оцінки гладкості зображень, дозволяє реалізувати адаптивне підсилення локальних контрастів під час їх степеневих перетворень.

Метод нелінійного розтягу локальних контрастів. Метод ґрунтується на нелінійному перетворенні локальних контрастів з врахуванням зорового сприйняття людини і працює із значенням локального контрасту. Процес його роботи можна поділити на три основні етапи:

- обчислення кількісної міри оцінки локального контрасту;
- підвищення кількісної міри локального контрасту на основі визначеного наперед закону;
- відновлення зображення із підсиленими локальними контрастами.

Алгоритм застосовується по черзі для кожного елемента зображення, а не для цілого загалом. Це дає можливість уникнути хибних врахувань локальних контрастів, сусідніх до досліджуваного елемента ділянок.

Для аналізу принципу роботи алгоритму розглянемо гистограми розподілення значення локальних контрастів реальних зображень.

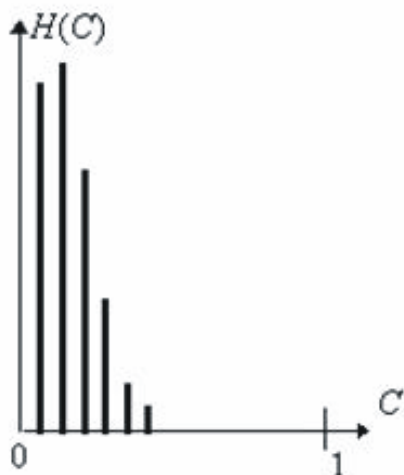


Рис. 1. Гістограма розподілення значень локальних контрастів вхідного зображення

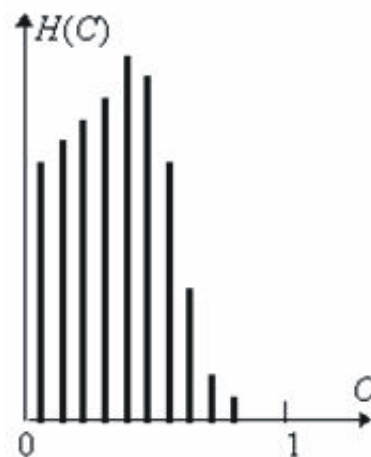


Рис. 2. Гістограма розподілення значень локальних контрастів зображення, опрацьованого методом підвищеного контрасту

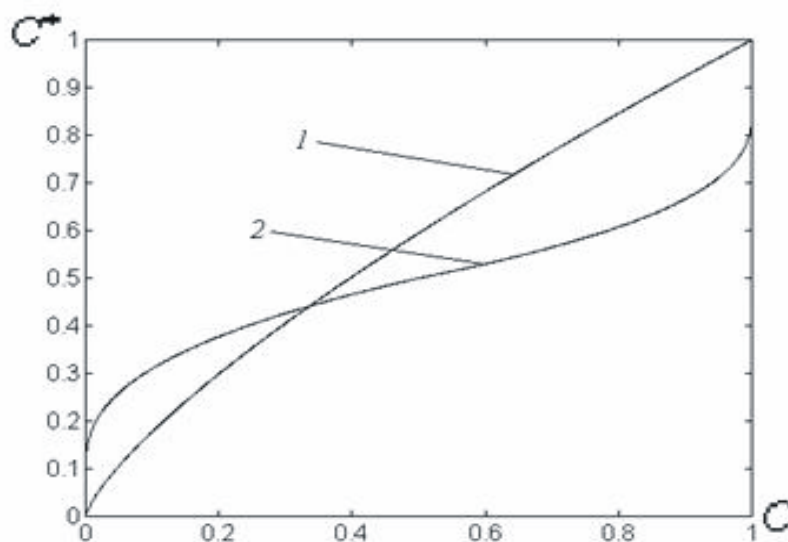


Рис. 3. Графіки функцій перетворення локального контрасту:  
1 – степенева функція; 2 – за виразом (8)

Як очевидно із рис. 1 гістограма вхідного зображення займає невелику частину можливого діапазону значень. На рис. 2 отримано гістограму вихідного зображення, отриману методом нелінійного розтягу гістограми локальних контрастів вхідного зображення. Ця гістограма має розширену область, до того ж ймовірність появи кожного із значень локальних контрастів рівномірніша і це своєю чергою підвищує інформативність зображення.

Для нелінійного перетворення локальних контрастів використаємо формулу (8):

$$C^*(i,j) = \begin{cases} B_0 + \left(\frac{R}{2} - A_0\right) \left(\frac{C(i,j) - C_{\min}}{\hat{C} - C_{\min}}\right)^a, & \text{для } C(i,j) \leq \hat{C} \\ R - A_0 - \left(\frac{R}{2} - A_0\right) \left(\frac{C_{\max} - C(i,j)}{C_{\max} - \hat{C}}\right)^a, & \text{для } C(i,j) > \hat{C} \end{cases} \quad (8)$$

де  $C(i, j)$  – значення локального контрасту елемента вхідного зображення з координатами  $(i, j)$ ,  $C^*(i, j)$  – підсилення значення локального контрасту елемента зображення з координатами  $(i, j)$ ,  $R$  – максимально можливе значення локального контрасту  $R=1$ ;  $C_{\max}, C_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення локального контрасту вхідного зображення,  $\hat{C}$  – оцінка автоматичного очікування значення локального контрасту,  $A_0, B_0$  – коефіцієнти постійного зміщення,  $a$  – показник степеня.

Графік порівняння методу на основі виразу (8) із степеневою функцією наведений на рис.3.

На основі рис. 3 можна зробити висновок, що запропонована функція забезпечує краще підсилення для невеликих значень локального контрасту.

**Вибір критеріїв оцінки якості зображень та розробка кількісної оцінки якості вихідного зображення.** Для порівняння різних методів, оцінка якості за рахунок візуального сприйняття є недостатньою. Для забезпечення якісного порівняння результатів опрацювання розглянутих методів необхідно вибрати узагальнений критерій оцінки якості зображень.

Для кількісної оцінки якості вихідних зображень використаємо зважену оцінку, яка ґрунтується на трьох основних параметрах зображення:

– кількість і інтенсивність граничних пікселів. За допомогою ортогональних операторів Собеля, які окремо накладаються на зображення, обчислюємо градієнти по обидвох напрямках зображення. Далі знаходимо загальний градієнт зображення за формулою (9), на основі якого визначаємо кількість граничних пікселів за формулою (10) та їх сумарну інтенсивність за формулою (11)

$$G(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (9)$$

$$m(x, y) = \begin{cases} 1, G(x, y) > a \\ 0, G(x, y) < a \end{cases}$$

$$h(I) = \sum_{x,y} m(x, y) \quad (10)$$

$$E(I) = \sum_x \sum_y G(x, y) \quad (11)$$

– міра ентропії зображення. Для обчислення цього параметра оцінюється, яка кількість пікселів з різним рівнем яскравості наявна на зображенні. Граничні значення рівня з індексом  $i$  записуються як  $A_i$  і  $B_i$  для  $i \in \{0, \dots, 255\}$ . На основі гістограми вводиться міра ентропії покращання зображення  $I$ :

$$H(I) = \sum u(i) \quad (12)$$

$$u(i) = \begin{cases} -n_i \log_2(n_i), n_i \neq 0 \\ 0, n_i = 0 \end{cases}$$

де  $n_i$  – частота пікселів, що мають рівні градації яскравості між граничними значеннями  $A_i$  і  $B_i$ . Вираз (11) не є реальною ентропією, оскільки числа  $n_i$  – швидше відносні частоти ніж ймовірності.

– рівень адаптації до зору людини за яскравістю. Для зору людини приємнішими є зображення, середнє значення яскравості на яких дорівнюють середині всього діапазону можливих рівнів яскравості. Тому в загальну міру оцінки буде долучений множник

$$LQ = 1 - 0.3 \frac{\bar{L} - L_{\max}/2}{L_{\max}/2}, \quad (13)$$

де  $L_{\max}$  та  $\bar{L}$  – максимальне і середнє значення яскравості на зображенні.

Отже, загальна міра оцінки якості роботи алгоритму буде пропорційна  $h(I), E(I), H(I)$  та  $LQ$ . Для цього було вибрано функцію, що має такий вигляд:

$$F(x) = \ln(\ln(E(I)) + e) \frac{h(I)}{H_{size} W_{size}} e^{H(I)} LQ, \quad (14)$$

де  $H_{size}$  і  $W_{size}$  – відповідно вертикальний і горизонтальний розміри зображення.

**Результати досліджень.** Запропоновані методи були програмно реалізовані в середовищі математичного моделювання Matlab і ефективно застосовані для опрацювання чорно-білих зображень. Критерій оцінювання є величиною безрозмірною і був реалізований як окрема програма, на вхід якої надходили результати роботи розглянутих методів і згідно з формулою (14) була визначена загальна міра оцінки якості роботи для кожного методу. Вибір методу здійснювався за максимальним значенням критерію. У цьому випадку дослідження виконували на світлинах крові людини. Результати обчислень наведені на рис. 4 і рис. 5.

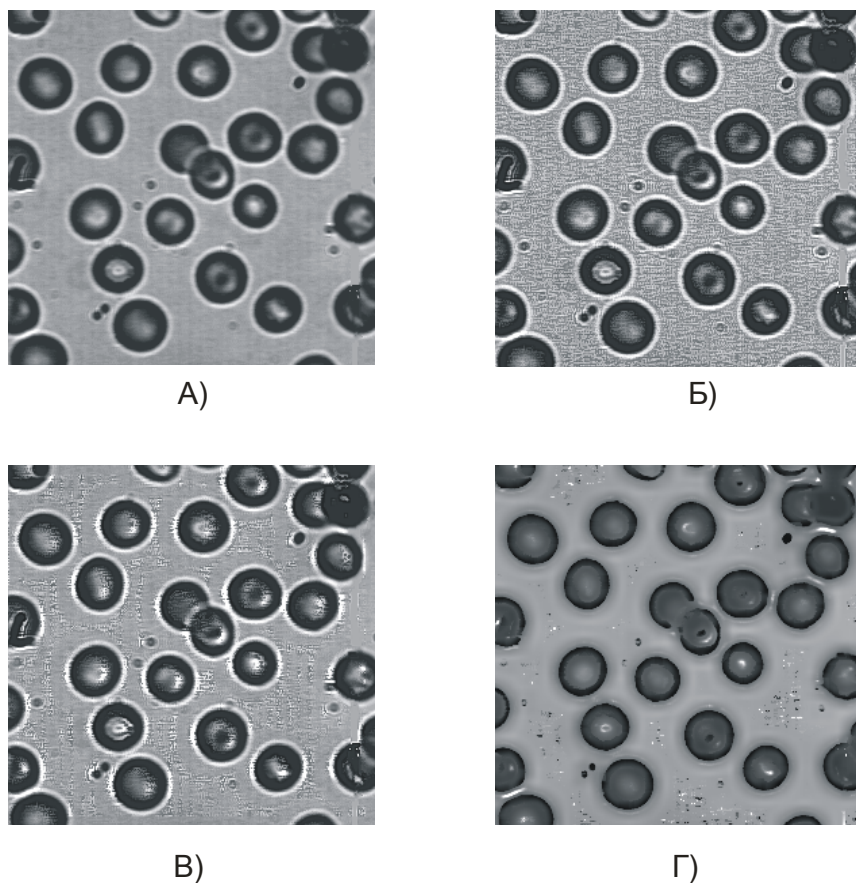


Рис. 4. Візуальні результати роботи: А – вхідне зображення; Б – підвищення контрастності з використанням ентропії; В – підвищення контрастності з використанням середньоквадратичного відхилення яскравості елементів області; Г – метод нелінійного розтягу локальних контрастів

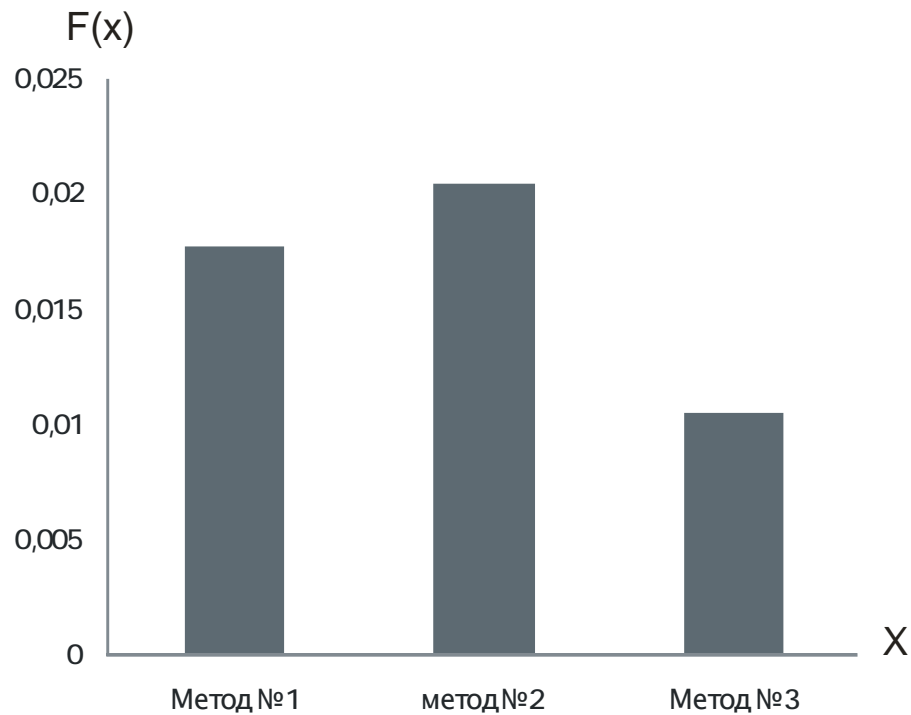


Рис. 5. Діаграма значень функції оцінки якості для досліджуваних методів

На рис. 4 наведено результати досліджень трьох методів. Неозброєним оком можна помітити, що на рис. 4(в) зображення більш деталізоване. Такий результат був отриманий за рахунок використання середньоквадратичного відхилення як міри перетворення контрасту вхідного зображення. Основна перевага цього методу є та, що він дає можливість ефективно врахувати значення елементів околу для наступної корекції центрального його елемента. Як зрозуміло із рис. 5 функція критерію оцінювання врахувала особливості результатів роботи кожного з методів і метод №2 дав найкращі результати.

**Висновки.** Згідно з вибраною функцією оцінки якості зображення найкращим виявився метод підвищення контрастності з використанням середньоквадратичного відхилення яскравості елементів області. Цей метод підвищує контрастність і деталізованість зображення, дає можливість оцінити границі переходів від одного рівня яскравості до іншого. Тому застосування методу є виправданим. На основі методу можна створювати автоматизовані засоби підвищення якості зображень довільного типу, що є актуальним у теперішній час.

1. Dash L., Chatterji B.N. Adaptive contrast enhancement and de-enhancement // *Pattern Recognition*, 1992. – V. 24. – № 4. – P.289–302. 2. Воробель Р.А. Цифровая обработка изображений на основе теории контрастности: Дис... докт. техн. наук: 05.13.06. – Львов, 1999. – 369. 3. Munteanu C., Rosa A. Gray-Scale Image Enhancement as an Automatic Process Driven by Evolution // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. – 2004. – V. 34. – P. 1292–1298.