

УДК 004.932.2(045):519.652:519.254

М. О.Рябий

Національний авіаційний університет

ПОБУДОВА УТОЧНЕНИХ КОНТРАСТНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Побудовано уточнені контрастні фільтри (псевдозворотні до низькочастотних) та проведено експериментальне дослідження обробки зображення лінійними фільтрами (низькочастотними та псевдозворотними до них контрастними) для визначення відносної похибки та відношення сигналу до шуму

Ключові слова: обробка цифрових зображень, уточнені контрастні фільтри, відносна похибка, сигнал.

Построены уточненные контрастные фильтры (псевдовозвратные к низкочастотным) и проведено экспериментальное исследование обработки изображения линейными фильтрами (низкочастотными и псевдовозвратными к ним контрастными) для определения относительной погрешности и отношение сигнала к шуму.

Ключевые слова: обработка цифровых изображений, уточненные контрастные фильтры, относительная погрешность, сигнал.

Refined contrast filters (pseudoreturn to low-frequency) is build and experimental study of image processing by linear filters (low-frequency and contrast them pseudoreturn) to determine the relative error and ratio of signal to noise is held.

Key words: image processing, refined contrast filters, relative error, signal.

Постановка проблеми. Вирішення задачі зменшення обсягу цифрових зображень (ЦЗ) при збереженні якісного зорового сприйняття стало потужним стимулом розвитку інформаційних технологій, зорієнтованих на пересічних користувачів, та фахівців з конкретних предметних галузей. Варто відмітити, що за однакових умов, різні методи дають різний рівень компресії (обумовимо, що тут та у подальшому викладенні будемо розуміти під «ЦЗ», у першу чергу, фотореалістичні зображення). Не ставлячи під сумнів успіхи розробників методів стиснення ЦЗ (як з втрагатами, так і без), розглянемо можливість покращити роботу цих методів за рахунок

попередньої обробки зображення, та обробки зображення після декомпресії.

Якщо підходити формально, то ЦЗ являє собою двовимірну функцію інтенсивності кольорових складових, задану на площині (растр). Відомо, що в основу більшості методів стиснення покладено процес розкладу функції за деякими базисами [1; 2]. З іншого боку відомо, що функції без особливостей (а саме гладкі функції) дозволяють стиснення за відліками набагато краще ніж функції яким не притаманні властивості гладкості.

Підвищити гладкість послідовності відліків функції можливо за рахунок процедур фільтрації, тобто, «пропустивши» послідовність цифрового сигналу через низькочастотний фільтр, варто очікувати збільшення рівня компресії при застосуванні відомих [3] методів.

З іншого боку – низькочастотна фільтрація призводить до втрат інформативності і користувача не задовольнить якість ЦЗ, тому потрібно застосувати зворотну операцію до низькочастотної фільтрації, а саме, функцію контрастування (рис.1).

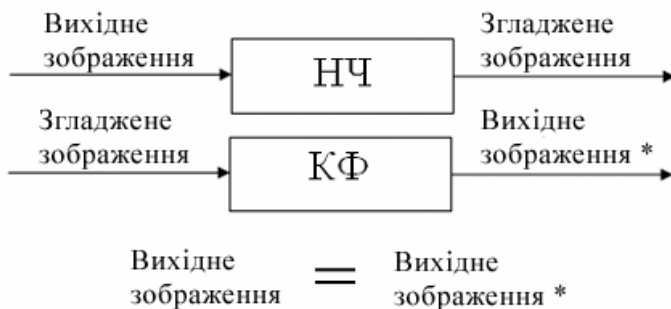


Рис. 1. Функція накладання фільтрів на зображення

Приклад вирішення даної задачі запропонований у роботах [4; 5], де описані низькочастотні фільтри для згладжування ЦЗ та псевдозворотні до них контрастні фільтри. Зменшення похибки при застосуванні зворотного оператора варто очікувати при збільшенні локального носія маски фільтра. Отже, проблематику даної роботи визначимо потребою у побудові більш точних зворотних операторів (до низькочастотних), що за умови додавання будь-якого методу стиснення може сприяти більшому ступеню компресії, з незначними втратами.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Згідно [4–6] формальна постановка задачі така. Нехай задано деякий растр, кожному пікселю якого

поставлено у відповідність двійка індексів $\{(i, j)\}_{i, j \in \mathbb{Z}}$, що визначають його місцеположення. Не зменшуючи загальності позначимо $P = \{P_{i, j}\}_{i, j \in \mathbb{Z}}$ – послідовність кольорової складової (наприклад, з простору RGB) вихідного растра. Під визначенням лінійного фільтра будемо розуміти лінійний оператор $W(p^{i, j})$, що призводить до зміни (фільтрації) як форми так і образу кольорових складових растра

$$\tilde{P}_{i, j} = W(p^{i, j}) = \sum_{ii=i-r_i}^{i+r_i} \sum_{jj=j-r_j}^{j+r_j} \gamma_{ii-i, jj-j} P_{ii, jj},$$

$$i = -\frac{k_i}{2}, \frac{k_i}{2}, \quad j = -\frac{k_j}{2}, \frac{k_j}{2},$$

або (не зменшуючи загальності) $i, j \in \mathbb{Z}$, де (i, j) – індекс піксела растра; k_i, k_j – розміри кадру зображення; $\tilde{P}_{ii, jj}$ – кольорова складова растра після дії оператора $W(p^{i, j})$; $\gamma_{ii-i, jj-j}$ – елемент маски фільтра; $(2r_i + 1) \times (2r_j + 1)$ – розмір маски фільтра.

У подальших дослідженнях будемо використовувати низькочастотні фільтри з такими масками (одновимірні та двовимірні) [4]:

$$H2.0(3 \times 1) = \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 1 \\ 6 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad H3.0(3 \times 1) = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad H4.0(5 \times 1) = \frac{1}{384} \begin{pmatrix} 1 \\ 76 \\ 230 \\ 76 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$H2.0(3 \times 3) = \frac{1}{64} \begin{pmatrix} 1 & 6 & 1 \\ 6 & 36 & 6 \\ 1 & 6 & 1 \end{pmatrix}, \quad H3.0(3 \times 3) = \frac{1}{36} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$H4.0(5 \times 5) = \frac{1}{147456} \begin{pmatrix} 1 & 76 & 230 & 76 & 1 \\ 76 & 5776 & 17480 & 5776 & 76 \\ 230 & 17480 & 52900 & 17480 & 230 \\ 76 & 5776 & 17480 & 5776 & 76 \\ 1 & 76 & 230 & 76 & 1 \end{pmatrix}$$

та контрастні з наступними масками [5], які їй підлягатимуть уточненню:

$$K2.0(5 \times 1) = \frac{1}{34} \begin{pmatrix} 1 \\ -8 \\ 48 \\ -8 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad K3.0(5 \times 1) = \frac{1}{14} \begin{pmatrix} 1 \\ -6 \\ 24 \\ -6 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$K2.0(9 \times 1) = \begin{pmatrix} -0,00067154 \\ -0,04892947 \\ 0,25787256 \\ -0,80938034 \\ 2,20221768 \\ -0,80938034 \\ 0,25787256 \\ -0,04892947 \\ -0,00067154 \end{pmatrix},$$

$$K2.0(5 \times 5) = \frac{1}{1156} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & \dots \\ -8 & 64 & -384 & \dots \\ 48 & -384 & 2304 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix},$$

$$K3.0(5 \times 5) = \frac{1}{196} \begin{pmatrix} 1 & -6 & 24 & \dots \\ -6 & 36 & -144 & \dots \\ 24 & -144 & 576 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix},$$

$$K3.0(9 \times 9) = \begin{pmatrix} 0,000000451 & 0,000032858 & -0,000173172 & 0,000543531 & -0,001478877 & \dots \\ 0,000032858 & 0,002394093 & -0,012617568 & 0,039602551 & -0,107753344 & \dots \\ -0,000173172 & -0,012617568 & 0,066498257 & -0,20871698 & 0,567891511 & \dots \\ 0,000543531 & 0,039602551 & -0,20871698 & 0,655096535 & -1,782431695 & \dots \\ -0,001478877 & -0,107753344 & 0,567891511 & -1,782431695 & 4,84976271 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix},$$

де $K2.0$, $K3.0$, $K4.0$ «потужність» псевдозворотного оператора; (5×5) , (7×7) , тощо – розмір маски фільтра.

Зазначимо, що так як маски фільтрів симетричні, то тут і у подальшому викладенні подано тільки лівий верхній кут, інші значення визначаються за рахунок симетрії.

Метою даної роботи є: за рахунок збільшення ширини маски фільтра, отримання та дослідження більш точних псевдозворотних до низькочастотних операторів, задля зменшення відносної похибки та збільшення показника відношення сигналу до шуму ($PSNR$). Варто очікувати чим більш точний буде зворотній оператор, тим більш якісне зображення буде отримано після обробки ЦЗ, що підлягало згладжуванню.

Виклад основного матеріалу. За аналогією з [5] наведено принцип побудови зворотних фільтрів для простішого прикладу низькочастотної фільтрації. Нехай після застосування низькочастотного лінійного фільтра на основі сплайну $S_{2,0}(p, t)$ (маска $H2.0(3 \times 1)$) отримано послідовність $P_H^{(S_{2,0})} = \{P_i^{(S_{2,0})}\}_{i \in Z}$. Мають місце наступні вирази для довільних індексів $i-2$, $i-1$, i , $i+1$, $i+2$ послідовності P :

$$\begin{aligned} p_{H_{i-2}}^{(S_{2,0})} &= \frac{1}{8} p_{i-3} + \frac{6}{8} p_{i-2} + \frac{1}{8} p_{i-1}, & p_{H_{i-1}}^{(S_{2,0})} &= \frac{1}{8} p_{i-2} + \frac{6}{8} p_{i-1} + \frac{1}{8} p_i, \\ p_{H_i}^{(S_{2,0})} &= \frac{1}{8} p_{i-1} + \frac{6}{8} p_i + \frac{1}{8} p_{i+1}, & & (1) \\ p_{H_{i+1}}^{(S_{2,0})} &= \frac{1}{8} p_i + \frac{6}{8} p_{i+1} + \frac{1}{8} p_{i+2}, \\ p_{H_{i+2}}^{(S_{2,0})} &= \frac{1}{8} p_{i+1} + \frac{6}{8} p_{i+2} + \frac{1}{8} p_{i+3}. \end{aligned}$$

Віднайдемо коефіцієнти A, B, C , зворотного перетворення, що забезпечує отримання послідовності $P_K^{(S_{2,0})} = \{pK_i^{(S_{2,0})}\}_{i \in Z}$:

$$pK_i^{(S_{2,0})} = A \cdot pN_{i-2}^{(S_{2,0})} + B \cdot pN_{i-1}^{(S_{2,0})} + C \cdot pN_i^{(S_{2,0})} + \\ + B \cdot pN_{i+1}^{(S_{2,0})} + A \cdot pN_{i+2}^{(S_{2,0})} \quad i \in Z, \quad (2)$$

так, щоб по можливості $pK_i^{(S_{2,0})} = p_i, i \in Z$. Підставляючи вирази (1) у (2), буде вірним:

$$p_i = \frac{A}{8} p_{i-3} + \left(\frac{6A}{8} + \frac{B}{8}\right) p_{i-2} + \left(\frac{A}{8} + \frac{6B}{8} + \frac{C}{8}\right) p_{i-1} + \left(\frac{2B}{8} + \frac{6C}{8}\right) p_i + \\ + \left(\frac{A}{8} + \frac{6B}{8} + \frac{C}{8}\right) p_{i+1} + \left(\frac{6A}{8} + \frac{B}{8}\right) p_{i+2} + \frac{A}{8} p_{i+3}.$$

Припускаючи однозначність зворотної операції, отримуємо наступну систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{A}{8} = 0, \\ \frac{6A}{8} + \frac{B}{8} = 0, \\ \frac{A}{8} + \frac{6B}{8} + \frac{C}{8} = 0, \\ \frac{2B}{8} + \frac{6C}{8} = 1. \end{cases}$$

Дана система не сумісна, на відміну від наступної:

$$\begin{cases} 6A + B = 0, \\ A + 6B + C = 0, \\ 2B + 6C = 8, \end{cases}$$

розв'язки якої:

$$\begin{cases} A = \frac{4}{99}, \\ B = -\frac{24}{99}, \\ C = \frac{140}{99}. \end{cases}$$

Отже, вираз (2) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} p\kappa_i^{(S_{2,0})} = & \frac{4}{99} \cdot p\eta_{i-2}^{(S_{2,0})} - \frac{24}{99} \cdot p\eta_{i-1}^{(S_{2,0})} + \frac{140}{99} \cdot p\eta_i^{(S_{2,0})} - \\ & - \frac{24}{99} \cdot p\eta_{i+1}^{(S_{2,0})} + \frac{4}{99} \cdot p\eta_{i+2}^{(S_{2,0})}, \quad i \in Z. \end{aligned} \quad (3)$$

Не важко переконатись, що похибка δ_i , $i \in Z$ після операції низькочастотної фільтрації та зворотного перетворення дорівнює:

$$\delta_i = -\frac{1}{198}(p_{i-3} + p_{i+3}).$$

Зважаючи, що $\left| -\frac{1}{198}(p_{i-3} + p_{i+3}) \right| \leq |\delta_i|$, вираз (3) можна пода-

ти так:

$$\begin{aligned} p\kappa_i^{(S_{2,0})} = & -\frac{1}{198} \cdot p\eta_{i-3}^{(S_{2,0})} + \frac{4}{99} \cdot p\eta_{i-2}^{(S_{2,0})} - \frac{24}{99} \cdot p\eta_{i-1}^{(S_{2,0})} + \frac{140}{99} \cdot p\eta_i^{(S_{2,0})} - \\ & - \frac{24}{99} \cdot p\eta_{i+1}^{(S_{2,0})} + \frac{4}{99} \cdot p\eta_{i+2}^{(S_{2,0})} - \frac{1}{198} \cdot p\eta_{i+3}^{(S_{2,0})}, \end{aligned}$$

що можна подати у вигляді:

$$p\kappa_i^{(S_{2,0})} = \sum_{j=i-3}^{i+3} \gamma_{K2.0(7 \times 1)} p\kappa_j^{(S_{2,0})},$$

де (у транспонованому вигляді)

$$K2.0(7 \times 1) = \frac{1}{198} \begin{pmatrix} -1 & 8 & -48 & 280 & -48 & 8 & -1 \end{pmatrix}^T.$$

За аналогічним підходом було одержано наступні уточнені одновимірні маски контрастних фільтрів:

$$K2.0(7 \times 1) = \frac{1}{198} \begin{pmatrix} -1 & 8 & -48 & 280 & -48 & 8 & -1 \end{pmatrix}^T,$$

$$K2.0(9 \times 1) = \frac{1}{1154} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & -280 & 1632 & -280 & 48 & -8 & 1 \end{pmatrix}^T,$$

$$K3.0(7 \times 1) = \frac{1}{52} \begin{pmatrix} -1 & 6 & -24 & 90 & -24 & 6 & -1 \end{pmatrix}^T,$$

$$K3.0(9 \times 1) = \frac{1}{194} \begin{pmatrix} 1 & -6 & 24 & -90 & 336 & -280 & 24 & -6 & 1 \end{pmatrix}^T,$$

$$K4.0(15 \times 1) = (-0,00095 \quad 0,0044 \quad -0,0138 \quad 0,0389 \quad -0,1079 \quad 0,2988 \quad -0,8258 \quad 2,2127 \quad \dots)^T$$

на основі яких, шляхом прямого добутку одновимірних масок, неважко одержати маски двовимірних фільтрів (за браком місця наведемо для прикладу двовимірну маску фільтра $K2.0(7 \times 7)$):

$$K2.0(7 \times 7) = \frac{1}{39204} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & -280 & 48 & -8 & 1 \\ -8 & 64 & -384 & 2240 & -384 & 64 & -8 \\ 48 & -384 & 2304 & -13440 & 2304 & -384 & 48 \\ -280 & 2240 & -13440 & 78400 & -13440 & 2240 & -280 \\ 48 & -384 & 2304 & -13440 & 2304 & -384 & 48 \\ -8 & 64 & -384 & 2240 & -384 & 64 & -8 \\ 1 & -8 & 48 & -280 & 48 & -8 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для проведення подальших досліджень якості запропонованих псевдо зворотних фільтрів, було сформовано вибірку ЦЗ обсягом 100 у форматі BMP без спотворення та артефактів, що ідентифікуються візуально. Спеціальних умов до розмірів, деталізації та сюжетного наповнення ЦЗ, що підлягали обробці, не надавалось. Суть експерименту полягала в обробці ЦЗ низькочастотними фільтрами різної «потужності», та зворотними до них контрастними фільтрами (відомими та отриманими в ході дослідження). Якість відтворення зображень оцінювалась за двома показниками: відношення сигналу до шуму ($PSNR$) та відносна похибка, що визначаються за формулами:

$$PSNR = 10 \cdot \lg \left(255^2 / \sigma_{\varepsilon}^2 \right),$$

$$\Delta_{\varepsilon} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\varepsilon_{i,j}}{p_{i,j}} \cdot 100\%,$$

де n , m – лінійні розміри цифрового зображення; $p_{i,j}$ – усереднене значення інтенсивності в (i, j) -й точці растру; $\varepsilon_{i,j}$ – абсолютне відхилення відтворення в зображення після стиснення в (i, j) -й точці растра; σ_{ε}^2 – дисперсія похибки відтворення.

Вибір саме таких показників обумовлений тим, за всяк час зміни в зображенні не сприймаються людським оком, якщо рівень *PSNR* більший 35 та відносна похибка менше 5 відсотків.

Приклад результатів експерименту зведено в таблицю 1 та наведено на графіках (рис. 2–7). Зокрема, в таблиці наведено дані обробки ЦЗ низькочастотним фільтром з маскою $H3.0(3 \times 3)$ та зворотнім до нього контрастним різного розміру маски фільтра. У першій колонці подано нумерацію ЦЗ, що оброблялися фільтрами (за браком місця всі дані не наводяться). В другій, четвертій та шостій – наведено відносну похибку відтворення зображення. У третій, п'ятій та сьомій колонках наведено *PSNR* відповідно до маски контрастного фільтра.

Таблиця 1

Результати обробки ЦЗ фільтрами з маскою $H3.0(3 \times 3)$ та відповідними псевдо зворотними

№	K3.0(5x5)		K3.0 (7x7)		K3.0 (9x9)	
	Δ_ε	PSNR	Δ_ε	PSNR	Δ_ε	PSNR
I	II	III	IV	V	VI	VII
1	62,20	0	72,94	0	74,79	62,20
2	65,95	0	85,39	0	85,81	65,95
3	63,66	0	79,36	0	99,99	63,66
...
99	50,06	0,06	63,28	0	86,58	50,06
100	49,87	0,11	60,78	0,01	65,27	49,87

Для статистичної обробки результатів дослідження введемо наступні показники: \overline{PSNR} – середнє значення *PSNR*, $\overline{\Delta_\varepsilon}$ – середнє значення відносної похибки. Сформулюємо наступні основні гіпотези та проведемо t-тест [7] для їх перевірки:

- відносна похибка з використанням отриманих фільтрів не перевищуватиме значення деякого конкретного відсотка;
- показник *PSNR* не нижче деякого заданого рівня.

Статистична характеристика для перевірки гіпотез виводиться так:

$$t_\varepsilon = \frac{\overline{\tau}}{\sigma\{\overline{\tau}\}},$$

де $\overline{\tau}$ – середнє значення за кожною складовою (відповідно, \overline{PSNR} та $\overline{\Delta_\varepsilon}$); $\sigma\{\overline{\tau}\}$ – середньоквадратичне відхилення (оцінок \overline{PSNR} та $\overline{\Delta_\varepsilon}$).

Критичне значення статистики для перевірки гіпотез по замовченню вважаємо $t_{\alpha/2} = 1,98$, при ймовірності похибки першого роду $\alpha = 0,05$.

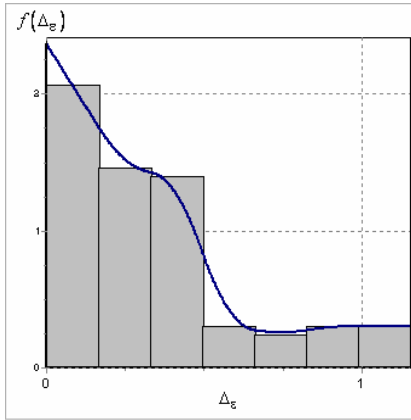


Рис.2. Щільність розподілу відносної похибки та нормована гістограма частот при використанні K3.0(5 x 5) (колонка II)

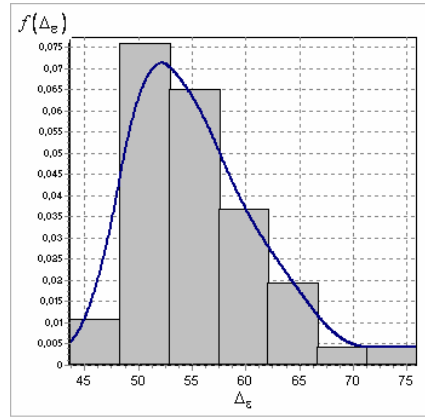


Рис.3. Щільність розподілу PSNR та нормована гістограма частот при використанні K3.0(5 x 5) (колонка III)

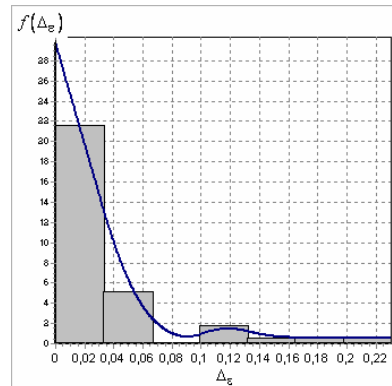


Рис.4. Щільність розподілу відносної похибки та нормована гістограма частот при використанні K3.0(7 x 7) (колонка IV)

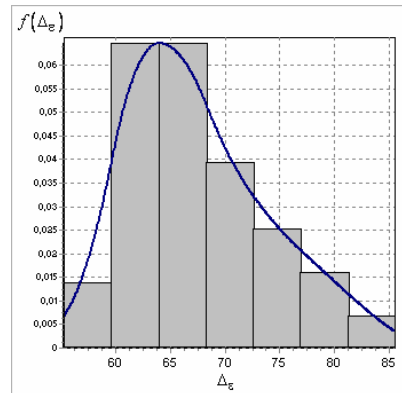


Рис.5. Щільність розподілу PSNR та нормована гістограма частот при використанні K3.0(7 x 7) (колонка V)

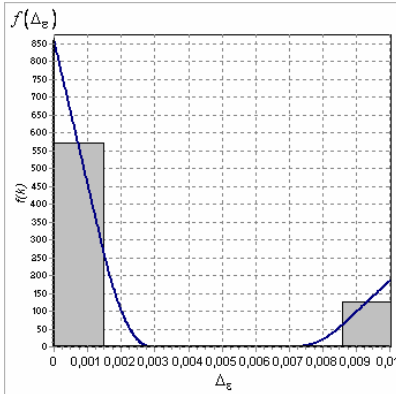


Рис.6. Щільність розподілу відносної похибки та нормована гістограма частот при використанні К3.0(9x9) (колонка VI)

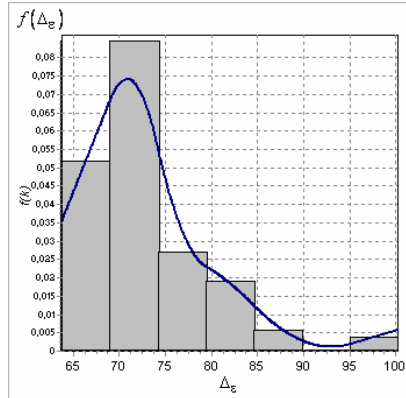


Рис.7. Щільність розподілу PSNR та нормована гістограма частот при використанні К3.0(9x9) (колонка VII)

У таблиці 2 наведено результати статистичного дослідження показника $PSNR$ для фільтрів з масками розміру 7×7 та 9×9 уточненого контрастного фільтра К2.0. У першій та третій колонці сформульовано гіпотези відповідно середнього значення \overline{PSNR} . У другій та четвертій – наведено значення t-тесту.

Таблиця 2

Результати t-тесту показника \overline{PSNR} К2.0

К2.0(7 x 7)		К2.0(9 x 9)	
I	II	III	IV
$H_0: \overline{PSNR} = 78$	$t = 4,59$ Прийняти H_2	$H_0: \overline{PSNR} = 79$	$t = 2,04$ Прийняти H_2
$H_1: \overline{PSNR} < 78$		$H_1: \overline{PSNR} < 79$	
$H_2: \overline{PSNR} > 78$		$H_2: \overline{PSNR} > 79$	

У наступних таблицях 3, 4 наведено результати статистичного дослідження $\overline{\Delta_\epsilon}$ та \overline{PSNR} для уточнених масок контрастного фільтра К3.0, К4.0, відповідно.

Таблиця 3

Результати t-тесту контрастного фільтру К3.0

Відносна похибка $\overline{\Delta_\varepsilon}$			
К3.0(7 x 7)		К3.0(9 x 9)	
I	II	III	IV
$H_0: \overline{\Delta_\varepsilon} = 0,05$	$t = -3,51$ Прийняти H_1	$H_0: \overline{\Delta_\varepsilon} = 0,01$	$t = -21,52$ Прийняти H_1
$H_1: \overline{\Delta_\varepsilon} < 0,05$		$H_1: \overline{\Delta_\varepsilon} < 0,01$	
$H_2: \overline{\Delta_\varepsilon} > 0,05$		$H_2: \overline{\Delta_\varepsilon} > 0,01$	
Показник \overline{PSNR}			
К3.0(7 x 7)		К3.0(9 x 9)	
$H_0: \overline{PSNR} = 65$	$t = 4,01$ Прийняти H_2	$H_0: \overline{PSNR} = 71$	$t = 2,74$ Прийняти H_2
$H_1: \overline{PSNR} < 65$		$H_1: \overline{PSNR} < 71$	
$H_2: \overline{PSNR} > 65$		$H_2: \overline{PSNR} > 71$	

Таблиця 4

Результати t-тесту контрастного фільтру К4.0

Відносна похибка $\overline{\Delta_\varepsilon}$		Показник \overline{PSNR}	
I	II	III	IV
$H_0: \overline{\Delta_\varepsilon} = 0,5$	$t = -19,34$ Прийняти H_1	$H_0: \overline{PSNR} = 45$	$t = 9,63$ Прийняти H_2
$H_1: \overline{\Delta_\varepsilon} < 0,5$		$H_1: \overline{PSNR} < 45$	
$H_2: \overline{\Delta_\varepsilon} > 0,5$		$H_2: \overline{PSNR} > 45$	

Виходячи з статистичного аналізу результатів (рис. 1-6, табл. 1-4) можна зробити такі висновки:

- Статистично доведено що використання уточнених контрастних фільтрів надає кращі результати по відтворенню ЦЗ, спотворених відповідним низькочастотним фільтром.
- При запропонованому підході показник $PSNR$ ЦЗ у середньому на рівні 65–71 для фільтрів з масками К2.0, К3.0 та не менше 45 для уточненого фільтра К4.0.
- Відносна похибка при відтворенні ЦЗ для фільтра К2.0 відсут-

ня, для К3.0 не перевищує 0,01–0,05 відсотка та для К4.0 не перевищує 0,5 відсотка.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що використання уточнених контрастних фільтрів не несе за собою втрат які могли б бути помітні для людського ока. При використанні даного підходу як складової частини методу компресії ЦЗ це, можливо, дозволить регулювати рівень втрат або відсутність останніх. Перспективним є зосередити подальші дослідження в напрямку розробки технології стиснення зображень з використання інваріантних перетворень ЦЗ («згладжування»-«контрастування») та будь-якого методу компресії що дозволить регулювати втрати та відсоток компресії в залежності від потреби, а також побудову нових низькочастотних фільтрів (з більшим ступенем згладжування) та зворотніх до них контрастних.

Бібліографічні посилання

1. **Добеши И.** Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск, 2001, – 464 с.
2. **Ватолин Д. С.** Алгоритмы сжатия изображений / Д. С. Ватолин. – М., 1999, – 59 с.
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебн. пособ. / [И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др.] – Новосибирск, 2000. – 168 с.
4. **Приставка П. О.** Обчислювальні аспекти застосування поліноміальних сплайнів при побудові фільтрів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Т.10 – 2006. – С.3–14.
5. **Приставка П. О.** Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П. О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Т.11. – 2007. – С.15–22
6. **Приставка П. О.** Дослідження комбінованих фільтрів для підвищення різкості зображень / П. О. Приставка, О. Г. Чолишкіна // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : зб. наук. праць. – Т.13. – 2009. – С.39–53.
7. **Приставка П. О.** Аналіз даних / П. О. Приставка, О. М. Мацуга Навч. посібник: – Д., 2008. – 92 с. (З гриф МОН України. Лист № 1.4/18-Г-2663 від 15.12.2008 р.).

Надійшла до редколегії 15.06.11–