

УДК 771.537

О.М. Маковейчук, В.О. Подліпаєв

АЛГОРИТМИ РЕСТАВРАЦІЇ ДЕФОКУСОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Представлена схему реставрації розфокусованих зображень, що базується на ітеративному алгоритмі сліпої деконволюції. З метою обмеження шуму запропоновано метод об'єднання вихідного і деконволюваного зображень.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.
Аналіз останніх досягнень та публікацій**

Як відомо [1], процес реставрації зображень полягає в реконструкції оригіналу із спотвореного зображення. У класичних лінійних системах функція розмиття вважається заданою, і процес спотворення інвертується за допомогою відомих алгоритмів (наприклад, інверсна, псевдоінверсна, вінерівська фільтрації [2]). Метою сліпої реставрації є оцінювання як істинного зображення, так і характеристик функції розмиття, використовуючи часткову інформацію про систему формування зображення [3] (різні модифікації ітеративних алгоритмів [4 – 8], а також нові техніки, що базуються на генетичних чи нейромережових алгоритмах (наприклад, “симуляція відпалювання металу” [9])).

Найчастіше приймається, що розмите зображення $f(x, y)$ на виході оптичної системи, нехтуючи адитивним шумом $n(x, y)$, може бути представлено у вигляді двовимірної згортки оригіналу $g(x, y)$ і функції лінійного просторово-інваріантного розмиття $h(x, y)$ (інакше – функції розмиття точки (ФРТ)). Тобто

$$g * f + n, \quad (1)$$

де * означає операцію двовимірної згортки.

Для практично значущого випадку розмиття внаслідок розфокусування ФРТ може бути записана як [1 – 2]

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & x^2 + y^2 \leq r^2; \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (2)$$

де r – радіус нерізкості.

Таким чином, вирішення завдання реставрації істинного зображення $g(x, y)$ вимагає розв'язання проблеми обертаня згортки (інакше – деконволюції). Як вказано у [10], це завдання належать до класу некоректних.

Мета статті – побудова ефективної методики реставрації розфокусованих зображень, використовуючи ітеративний алгоритм сліпої деконволюції.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Використовуючи ідеї регуляризації [10] для отримання фізично прийнятних розв'язків рівняння (1), введемо функціонал

$$J(f, h) = \|h * f - g\|^2 + \alpha \cdot \|f\|^2 + \beta \cdot \|h\|^2, \quad (3)$$

де α, β – параметри регуляризації;

$\|\dots\|$ – евклідова норма.

Далі зручно перейти до Фур'є-представлення, тоді функціонал (3) можна представити як

$$J(F, H) = |H^* F - G|^2 + \alpha |F|^2 + \beta |H|^2, \quad (4)$$

де відповідними великими літерами позначено образи у частотній області.

Мінімум функціонала (4) знаходимо з умов

$$\frac{\partial J}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial J}{\partial H} = 0, \quad (5)$$

звідки отримуємо для n -ї ітерації:

$$H_{(n+1)} = \frac{F_{(n)} G}{|F_{(n)}|^2 + \alpha}. \quad (6)$$

Остання рівність справедлива для моделі ідеального спотворення з нульовою фазою. Оскільки в цьому випадку фази ідеального і спотвореного зображень співпадають, то, аналогічно (6),

$$F_{(n+1)} = \left| \frac{H_{(n)} G}{|H_{(n)}|^2 + \beta} \right| \frac{G}{|G|} = \frac{|H_{(n)}|}{|H_{(n)}|^2 + \beta} G. \quad (7)$$

Рівняння (6) – (7) з початковими умовами $F_{(0)} = G, H_{(0)} = 1$ дозволяють розв'язати задачу обертаня згортки. Вхідними параметрами алгоритму є константи регуляризації α, β і параметр N , що задає максимальну кількість внутрішніх ітерацій.

З практичної точки зору доцільно робити перехід із частотної в просторову область (з можливим використанням умов на невід'ємність зображення і ФРТ), при цьому з'являється додатковий параметр – кількість зовнішніх ітерацій.

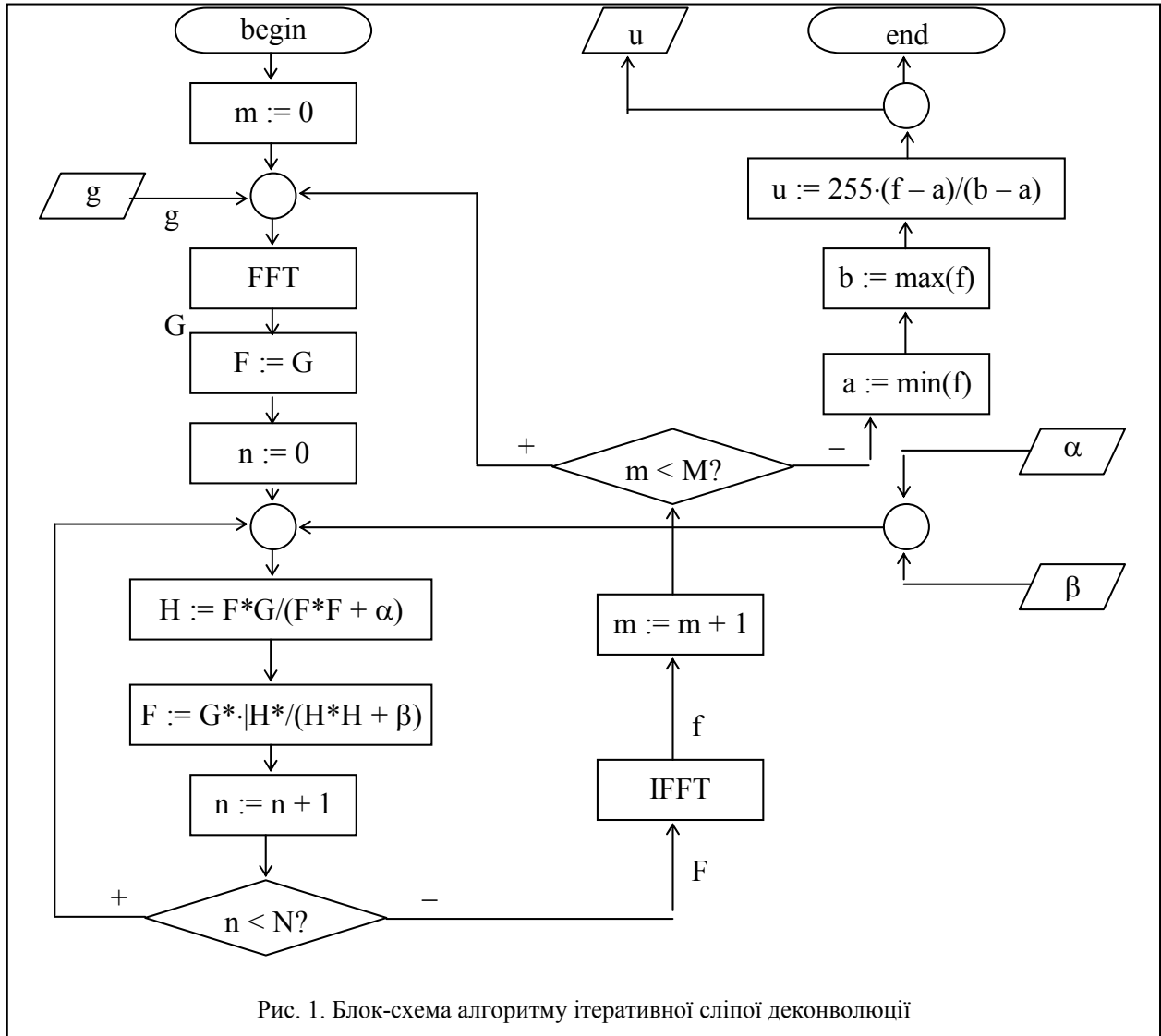


Рис. 1. Блок-схема алгоритму ітеративної сліпої деконволюції

На рис. 1 наведена блок-схема алгоритму деконволюції.

Розтягування гістограми. Для збільшення інформативності зображення на наступному етапі проводиться розтягування його гістограми [2], при цьому відкидаються “хвости” в області граничних кольорів. За мінімум a і максимум b приймаються кольори, що відповідають таким умовам

$$\sum_{c=0}^a \text{hist}_c = \gamma \sum_c \text{hist}_c ; \sum_{c=b}^{255} \text{hist}_c = \gamma \sum_c \text{hist}_c , \quad (8)$$

де hist – масив гістограми;

γ – вхідний параметр (частка від площі зображення).

На рис. 2 наведена блок-схема алгоритму розтягування гістограм.

Отримання синтетичного підсумкового зображення. Оскільки вихідне розмите зображення має ще й адитивну шумову складову, то у відновленому зображенні буде значно підсилено шум на час-

тотах, що відповідають малим значенням Фур’є-образу ФРТ. Методи регуляризації дають прийнятний результат за рахунок втрати якості реставрації. Оскільки людське око менш чутливе до шуму в області з великими значеннями градієнта зображення (наприклад, контурів), то на останньому етапі обробки знаходиться зважена сума розмитого й опрацьованого зображень. При цьому для кожної точки як ваговий коефіцієнт вибирається локальна дисперсія (сумарний градієнт у точці можна апроксимувати локальною дисперсією по вікню).

Вхідним параметром є розмір вікна α .

На рис. 3 наведена блок-схема алгоритму отримання синтетичного підсумкового зображення.

Повний алгоритм реставрації, як наведено на рис. 4, складається з таких етапів:

“Dcnv” – ітеративна сліпа деконволюція;

“Hist” – розтягування гістограм;

“Blend” – одержання зваженої суми вихідного й обробленого зображень.

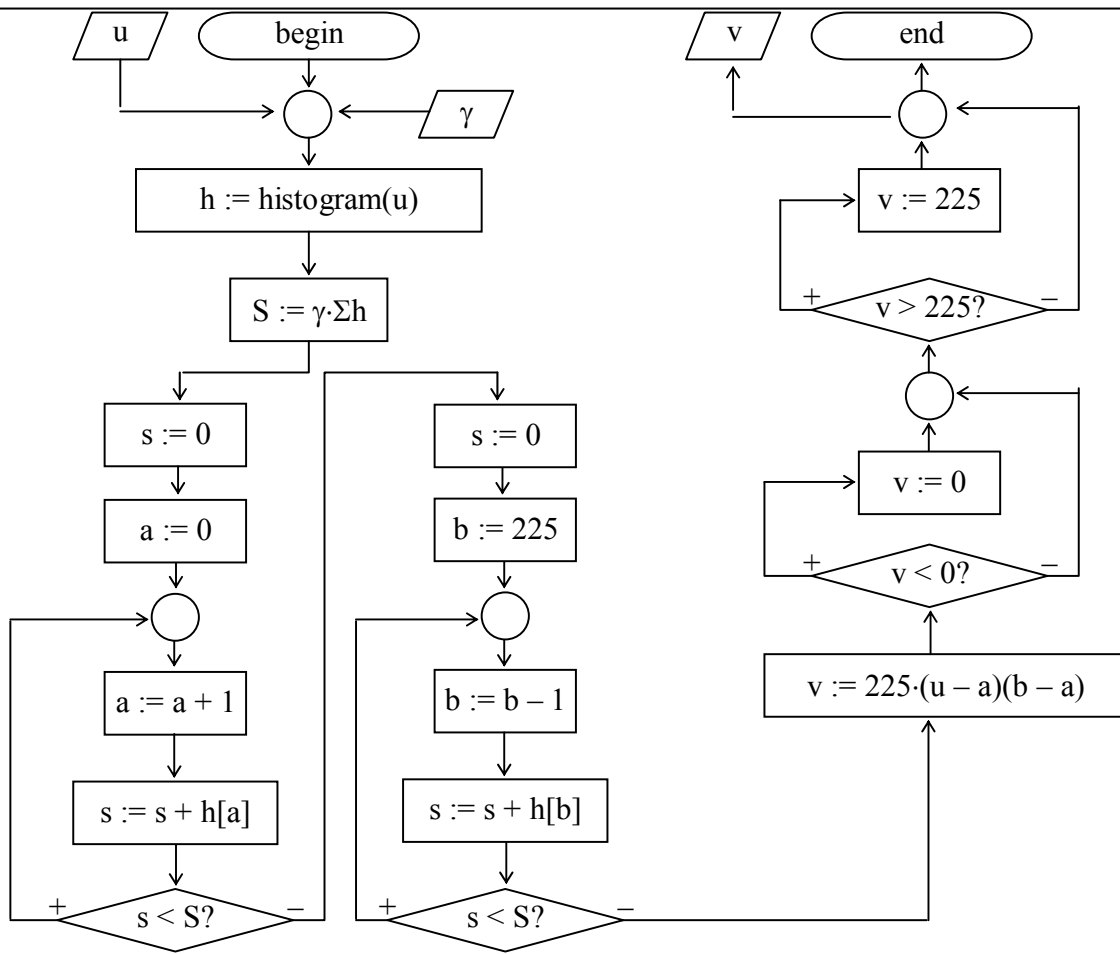


Рис. 2. Блок-схема алгоритму розгортання гістограм

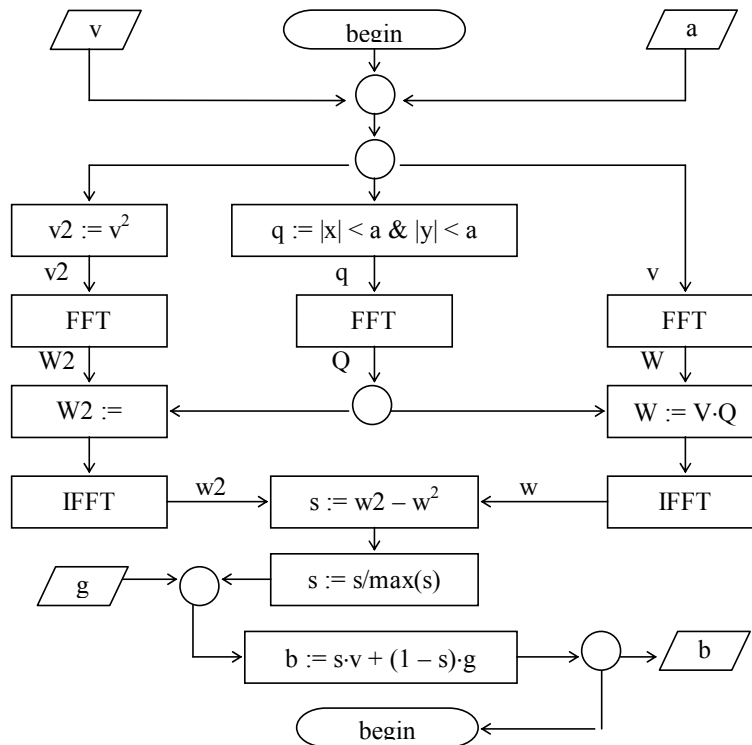
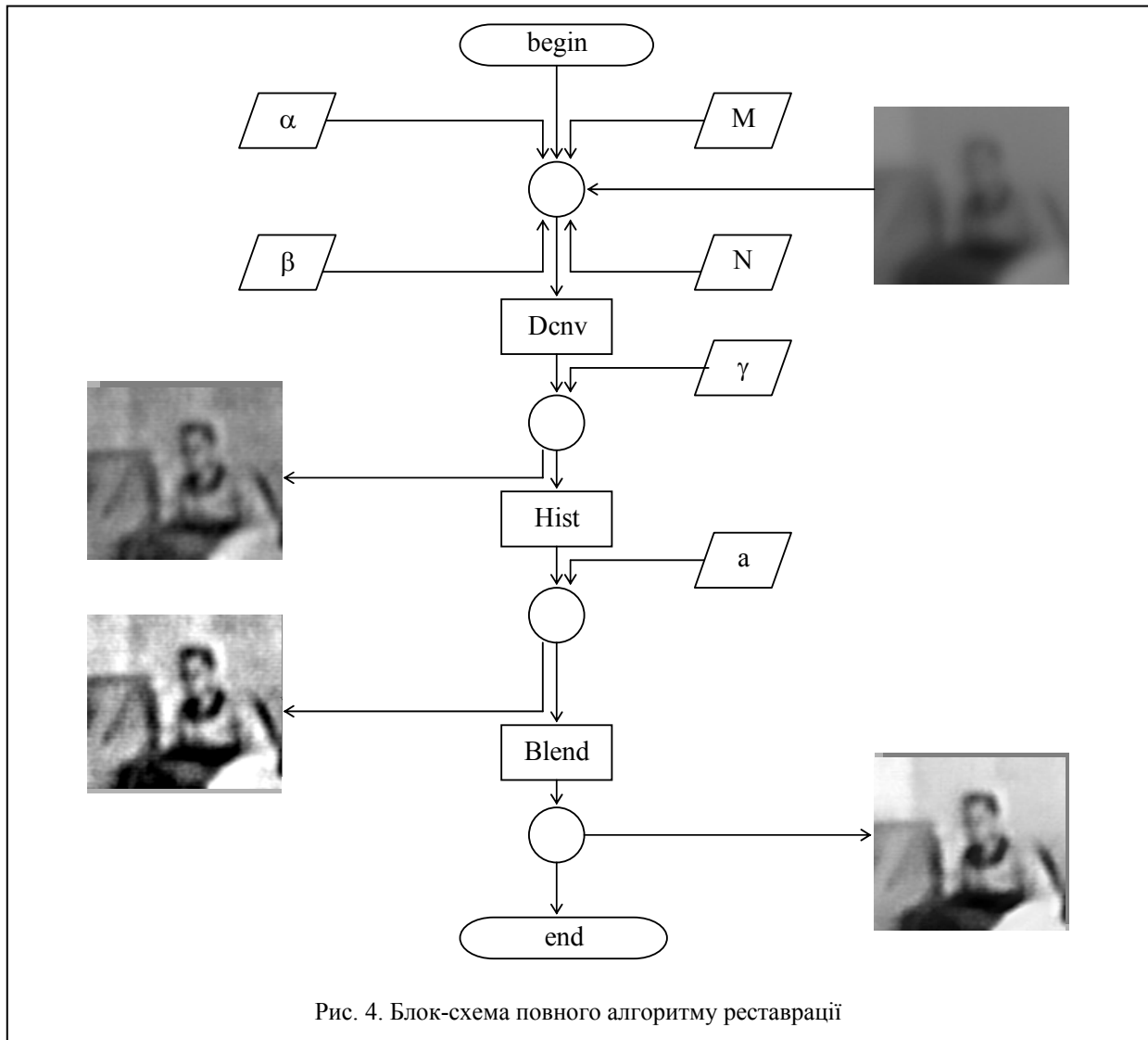



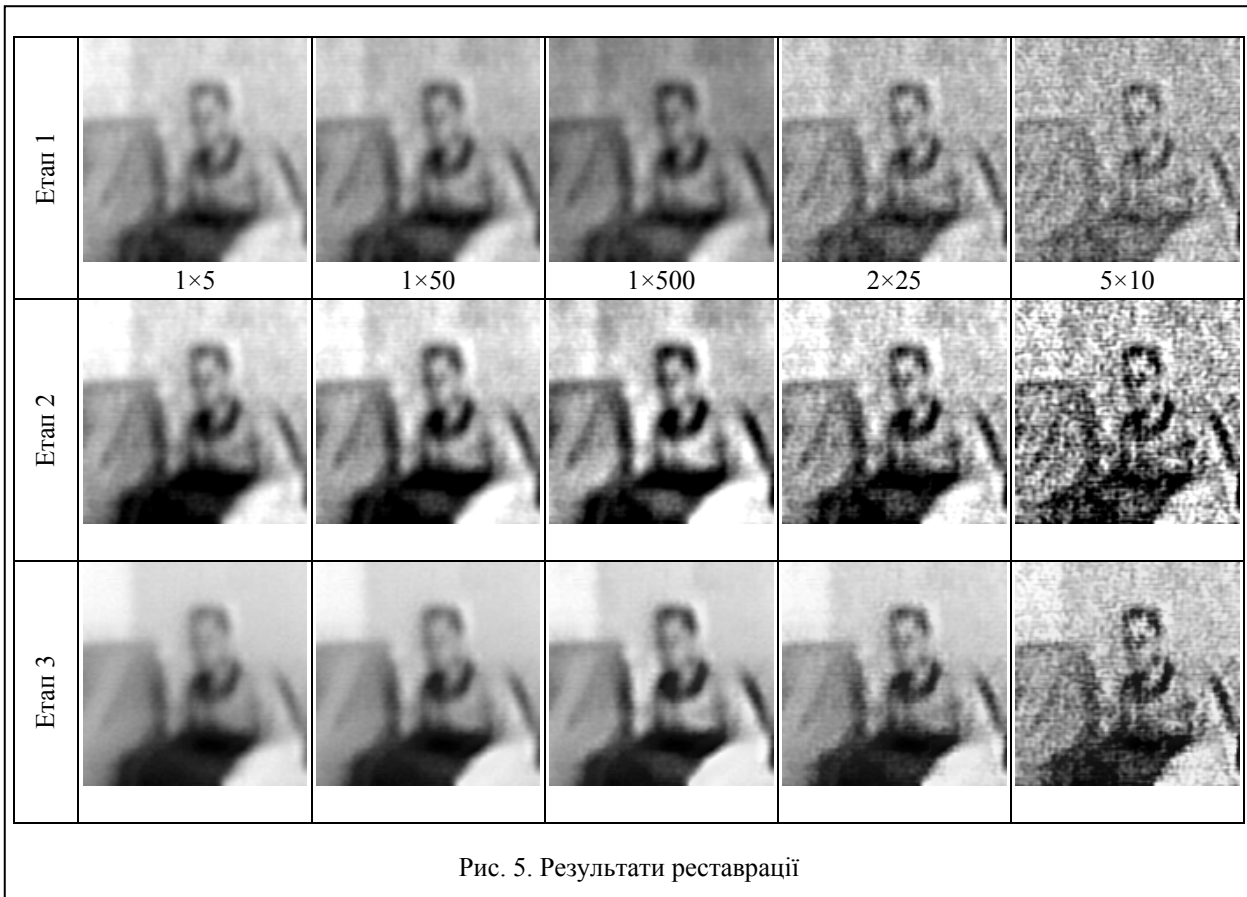
Рис. 3. Блок-схема алгоритму отримання результуючого зображення



Таблиця 1

Параметри застосування алгоритму

Параметр	Значення				
Вихідне зображення					
Кількість ітерацій, $M \times N$	1×5	1×50	1×500	2×25	5×10
Регуляризаційні параметри, $\alpha = \beta$	0,02				
Параметр „обрізання” гистограми, γ	0,01				
Розмір вікна, a	8				



Результати. Вихідне розфокусоване зображення отримано за допомогою камери DV4400BEX і програмного забезпечення, представленими фірмами «ЕЛСІ» та «БІТ» [11].

Параметри застосування алгоритму зведені до табл. 1.

Результати застосування описаного алгоритму реставрації наведено на рис. 5.

Висновки та напрямки подальших досліджень

Описана схема сліпої реставрації зображень дозволяє суттєво зменшувати розмиття, тим самим реально поліпшуючи їх. Цікавим є запропонований метод зменшення шумів шляхом зваженого підсумовування вихідного і деконволюваного зображень.

До певних недоліків слід віднести порівняно високу обчислювальну вартість застосованих алгоритмів (у зв'язку з цим викликає інтерес створення окремої плати спецобчислювача на базі DSP), а також складність вибору оптимальних параметрів реставрації, що зумовлює напрямки подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бейтс Р., Мак-Донелл М. Восстановление и реконструкция изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 336 с.
2. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. – М.: Радио и связь, 1987. – 296 с.

3. Terebizh V.Yu. Image restoration under minimum of a priori information // *Usp. Fiz. Nauk.* – 1995. – 148 – 165.

4. Ayers G.R., Dainty J.C. Iterative blind deconvolution method and its applications // *Optics Letters.* – July 1988. – Vol. 13(7). – P. 547 – 549.

5. Kundur D. Hatzinakos D. Blind image deconvolution // *IEEE Signal Processing Magazine.* – May 1996. – Vol. 13. – P. 43 – 64.

6. Bates R.H.T. Jiang H. Blind deconvolution – recovering the seemingly irrecoverable! // *International Trends in Optics (J.W. Goodman ed.)*. – 1991. – P. 423 – 437.

7. Vural C. Sethares W.A. Blind Deconvolution of Noisy Blurred Images Via Dispersion Minimization // *Proc. 14th IEEE International Conference on Digital Signal Processing.* – Santorini, Greece. – July 2002.

8. Vural C. Sethares W.A. Recursive Blind Image Deconvolution Via Dispersion Minimization // *Proc. 14th IEEE International Conference on Digital Signal Processing.* – Santorini, Greece. – July 2002.

9. McCallum B.C. Blind deconvolution by simulated annealing // *Optics Communication.* – Feb. 1990. – Vol. 75(2). – P. 101 – 105.

10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 288 с.

11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.elsy.com.ua.

Надійшла 12.12.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил.