

УДК 519.6

О.М. Литвин<sup>1</sup>, О.О. Литвин<sup>1</sup>, Г.Д. Лісний<sup>2</sup>, О.В. Славик<sup>1</sup><sup>1</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна,<sup>2</sup> Київський університет імені Т. Шевченка, м. Київ, Україна

## ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗОНАХ ВІДСУТНОСТІ ПОПІКСЕЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРСТРІПАЦІЇ ФУНКЦІЙ

Задача відновлення зображення в зонах відсутності попиксельної інформації є вкрай важливою. Такі задачі виникають в машинобудуванні, сейсмографії, обробці даних дистанційного зондування Землі тощо. В даній роботі проведено огляд існуючих методів відновлення пошкоджених цифрових зображень. Наведено стандартний метод інтерстріпації функції двох змінних. Запропоновано новий модифікований метод текстурної інтерстріпації для відновлення зображення поверхні за неповною інформацією про неї.

ЗОБРАЖЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ІНТЕРСТРІПАЦІЯ, ІНТЕРЛІНАЦІЯ, ТЕКСТУРНА ІНТЕРСТРІПАЦІЯ

### Вступ

Інколи в файлах, які містять графічну інформацію виявляються дефекти. Наприклад, в процесі передачі по мережі вони можуть бути пошкоджені в результаті помилок при передачі даних або перенавантаженню мережі. Оцінка справжніх значень втрачених пікселів необхідна в більшості задач цифрової обробки зображень або, наприклад, в задачах оборки архівних документів у вигляді зображень, що мають різноманітні спотворення (подряпини, плями, пил, непотрібні написи, лінії згину тощо). Тому актуальною є розробка методів для відновлення зображення в тих його частинах, де інформація з тих чи інших причин відсутня або якщо вона відома неповністю. Більшість методів відновлення зображень можна умовно поділити на наступні групи [1]: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях в частинних похідних, гібридні та швидкі напівавтоматичні. В роботі [11] було запропоновано метод інтерстріпації для відновлення функції двох змінних в точках між смугами за допомогою інформації про цю функцію, яка відома лише в точках заданої системи смуг.

Аналіз літературних джерел. Позначимо множини пікселів в невідомій області через  $D$ , а множини коректних пікселів через  $D$ . Позначимо піксель зображення  $I$ , який знаходиться на перетині  $i$ -ї строки та  $j$ -го стовпця через  $I(i, j)$ , а квадратну область розміром  $m \times m$ , ( $m \geq 1$ ) на зображенні  $I$ , центральний піксель якого має координату  $(i, j)$ , через  $B(i, j)$ .

Вище вже було зазначено, що більшість методів відновлення зображень можна умовно поділити на групи [1]. Розглянемо їх більш детально.

Текстурні методи відновлення зображень для заповнення невідомої області  $\bar{D}$  безпосередньо використовують пікселі з відомої області зображення  $D$ . Головна відмінність між цими алгоритмами полягає в забезпеченні неперервності на

границі області  $D$  [1]. В роботах [2] та [3] запропоновані методи текстурного відновлення зображення, які відрізняються способом відновлення різних кольорів, інтенсивності, градієнта та навіть статистичних характеристик.

Основна ідея роботи шаблонних методів відновлення зображень заснована на припущенні про наявність повторюваних фрагментів даних на зображенні, які зазвичай називаються шаблонами. Відновлення області  $\bar{D}$  проводиться частинами шляхом копіювання значень яскравості з найбільш схожого шаблону. Невідома область може містити як текстурну, так і структурну інформацію. В роботі [4] було показано, що для досягнення більш високого рівня відновлення, необхідно вміти знаходити та відрізняти структурну та текстурну складові з метою відновлення в першу чергу саме структурної складової. В роботі [5] було запропоновано ітераційний алгоритм для заповнення області  $D$ . Особливо виділяється робота [6], де на відміну від всіх вищеописаних робіт, для заповнення пошкодженої області використовується база даних зображень, яка містить мільйони зображень-шаблонів для відновлення.

Основу для методів відновлення зображень, основаних на рівняннях з частинними похідними, було закладено в роботі [7]. В цій роботі відновлення даних області  $\bar{D}$  проводиться за допомогою даних, що є природним продовженням інформації, яка міститься в  $D$ . Цей підхід став основою для наступних робіт. Так, наприклад, в роботі [8] було запропоновано алгоритм анізотропної вектор-регуляризації.

Гібридні методи відновлення зображень являють собою поєднання двох класів методів. А саме текстурних методів та методів, основаних на використанні диференціальних рівнянь з частинними похідними. Основна ідея алгоритму полягає в тому, що перш за все виділяють текстурну та структурну

складову зображення, які потім заповнюються відповідними алгоритмами [1].

Недоліком більшості представлених вище методів є їх висока обчислювальна складність, тому в деяких працях застосовують швидкі напівавтоматичні методи відновлення зображень для прискорення обчислень. В роботі [9] було наведено метод відновлення зображення за допомогою виділеної структури. Автори роботи [10] запропонували відновлення зображення з використанням ітеративної згортки зображення з дифузним ядром.

Робота [11] була присвячена розробці методу інтерстріпації неперервних функцій.

Інтерстріпацією (від англ. *inter* – між, від англ. *stripe* – смуга) функції двох змінних називається відновлення цієї функції між системою смуг, якщо інформація про цю функцію відома лише в точках вказаних смуг.

Даний метод дозволяє відновлювати поверхню за відомою інформацією про неї на смугах у випадку якщо границі смуг є неперетинними прямими паралельними осям координат.

Постановка задачі. Необхідно відновити пошкоджене зображення деякої поверхні  $\Sigma$ . Вважаємо, що зображення поверхні  $\Sigma$  відоме лише на системі  $m$  ( $m \geq 2$ ) вертикальних смуг вигляду:

$$D_{1,k} = \{\alpha_k \leq x \leq \beta_k\}, k = \overline{1, m}$$

та на системі  $n$  ( $n \geq 2$ ) горизонтальних смуг вигляду:

$$D_{2,l} = \{\gamma_l \leq y \leq \delta_l\}, l = \overline{1, n}$$

Невідомі смуги зображення задаються наступним чином для невідомих вертикальних смуг:

$$\overline{D}_{1,k,k+1} = \{\beta_k \leq x \leq \alpha_{k+1}\}, k = \overline{1, m-1}$$

та для невідомих горизонтальних смуг:

$$\overline{D}_{2,l,l+1} = \{\delta_l \leq y \leq \gamma_{l+1}\}, l = \overline{1, n-1}$$

Тоді об'єднання множин  $\overline{D}_{1,k,k+1}, k = \overline{1, m-1}$  та  $\overline{D}_{2,l,l+1}, l = \overline{1, n-1}$  дає область  $\overline{D}$  незаповнених ділянок зображення. В точках зображення  $D$ , які не потрапили до  $\overline{D}$  зберігається вся наявна інформація про зображення.

Поверхня  $\Sigma: z = f(x, y)$ ,  $f(x, y) \in C^{N,N}(R^2)$ , яку ми хочемо відновити, вважається відомою лише на вказаних смугах, тобто

$$f(x, y)|_{\alpha_k \leq x \leq \beta_k} = f_{1,k}(x, y), \alpha_k \leq x \leq \beta_k; \gamma_l \leq y \leq \delta_{l+1}$$

$$f(x, y)|_{\gamma_l \leq y \leq \delta_l} = f_{2,l}(x, y), \gamma_l \leq y \leq \delta_l; \alpha_1 \leq x \leq \beta_{m+1}$$

При цьому

$$\alpha_k < \beta_k < \alpha_{k+1} < \beta_{k+1}, k = \overline{1, m},$$

$$\gamma_l < \delta_l < \gamma_{l+1} < \delta_{l+1}, l = \overline{1, n}.$$

$C^{N,N}(R^2)$  – клас функцій, які мають неперервні похідні  $f^{(p,q)}(x, y)$  для  $0 < p, q \leq N$ .

## 1. Інтерстріпація на системі вертикальних смуг

Вважаємо, що зображення поверхні  $\Sigma$  відоме лише на системі  $m$  ( $m \geq 2$ ) вертикальних смуг  $D_{1,k}, k = \overline{1, m}$ .

Ведемо до розгляду такої оператор

$$T_{1,k,k+1}f(x, y) = \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \Delta_{1,k,k+1}f(x, y) + \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \Delta_{2,k,k+1}f(x, y).$$

Оператори  $\Delta_{1,k,k+1}f(x, y)$  та  $\Delta_{2,k,k+1}f(x, y)$  обираються наступним чином:

$$\Delta_{1,k,k+1}f(x, y) = \frac{1}{(2\rho + 1)^2} \sum_{i=-\rho}^{\rho} \sum_{j=-\rho}^{\rho} f(\beta_k - \rho + i, y + j),$$

$$\Delta_{2,k,k+1}f(x, y) = \frac{1}{(2\rho + 1)^2} \sum_{i=-\rho}^{\rho} \sum_{j=-\rho}^{\rho} f(\alpha_{k+1} + \rho + i, y + j).$$

де  $\rho = \rho_{1,k,k+1}(x, \beta_k, \alpha_{k+1}) = \min(x - \beta_k, \alpha_{k+1} - x)$  – мінімальна відстань від точки  $I(x, y)$  до границь невідомої вертикальної смуги  $\overline{D}_{1,k,k+1}$ , яка знаходиться між смугами  $D_{1,k}$  та  $D_{1,k+1}$ .

Оператори  $\Delta_{1,k,k+1}f(x, y)$  та  $\Delta_{2,k,k+1}f(x, y)$  обчислюють середнє значення освітленості зображення в пікселях, які попадають в квадратні області  $B(\beta_k - \rho, y)$  та  $B(\alpha_{k+1} + \rho, y)$  відповідно. розміром  $(2\rho + 1) \times (2\rho + 1)$  кожна.

*Зауваження 1.* В залежності від області точки з квадратних областей  $B(\beta_k - \rho, y)$  та  $B(\alpha_{k+1} + \rho, y)$  можуть братися з невідомих областей зображення або поза ним, тому слід перевіряти їх на належність відомим областям  $D_{1,k}, k = \overline{1, m}$ . Аналогічне зауваження справедливе і для операторів  $\Delta_{3,l,l+1}f(x, y)$  та  $\Delta_{4,l,l+1}f(x, y)$ , наведених нижче.

*Зауваження 2.* Для зменшення обчислювальної складності оператори  $\Delta_{1,k,k+1}f(x, y)$  та  $\Delta_{2,k,k+1}f(x, y)$  можна обрати наступним чином:

$$\Delta_{1,k,k+1}f(x, y) = f(\beta_k - \rho, y),$$

$$\Delta_{2,k,k+1}f(x, y) = f(\alpha_{k+1} + \rho, y).$$

Тобто, замість обчислення середнього значення освітленості в відповідній квадратній області брати значення освітленості в центрі цієї квадратної області.

Ведемо до розгляду такої оператор

$$\Theta_1 f(x, y) = \begin{cases} f_{1,k}(x, y) & (x, y) \in D_{1,k}, k = \overline{1, m}; \\ T_{1,k,k+1}f(x, y) & (x, y) \in \overline{D}_{1,k,k+1}, k = \overline{1, m-1}; \end{cases}$$

Поверхня  $z = \Theta_1 f(x, y)$  є наближеною математичною моделлю освітленості поверхні  $\Sigma$ , яка на кожній смугі  $D_{1,k}, k = \overline{1, m}$  точно відновлює поверхню, а між смугами зображує поверхню за допомогою оператора  $T_{1,k,k+1}f(x, y)$ .

*Зауваження 3.* Якщо  $\rho = 0$ , то отримуємо стандартний метод інтерстріпації на системі вертикальних смуг, описаний у [11].

## 2. Інтерстріпація на системі горизонтальних смуг

Вважаємо, що зображення поверхні  $\Sigma$  відоме лише на системі  $n$  ( $n \geq 2$ ) горизонтальних смуг  $D_{2,l}$ ,  $l = \overline{1, n}$ .

Ведемо до розгляду такой оператор

$$T_{2,l,l+1}f(x,y) = \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} \Delta_{3,l,l+1}f(x,y) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} \Delta_{4,l,l+1}f(x,y).$$

Оператори  $\Delta_{3,l,l+1}f(x,y)$  та  $\Delta_{4,l,l+1}f(x,y)$  обираються наступним чином:

$$\Delta_{3,l,l+1}f(x,y) = \frac{1}{(2\rho+1)^2} \sum_{i=-\rho}^{\rho} \sum_{j=-\rho}^{\rho} f(x+i, \delta_l - \rho + j),$$

$$\Delta_{4,l,l+1}f(x,y) = \frac{1}{(2\rho+1)^2} \sum_{i=-\rho}^{\rho} \sum_{j=-\rho}^{\rho} f(x+i, \gamma_{l+1} + \rho + j),$$

де  $\rho = \rho_{2,l,l+1}(y, \delta_l, \gamma_{l+1}) = \min(y - \delta_l, \gamma_{l+1} - y)$  – мінімальна відстань від точки  $I(x,y)$  до границь невідомої горизонтальної смуги  $\overline{D}_{2,l,l+1}$ , яка знаходиться між смугами  $D_{2,l}$  та  $D_{2,l+1}$ .

Оператори  $\Delta_{3,l,l+1}f(x,y)$  та  $\Delta_{4,l,l+1}f(x,y)$  обчислюють середнє значення освітленості зображення в пікселях, які попадають в квадратні області  $B(x, \delta_l - \rho)$  та  $B(x, \gamma_{l+1} + \rho)$  відповідно. розміром  $(2\rho+1) \times (2\rho+1)$  кожна.

*Зауваження 4.* Для зменшення обчислювальної складності оператори  $\Delta_{3,l,l+1}f(x,y)$  та  $\Delta_{4,l,l+1}f(x,y)$  можна обрати наступним чином:

$$\Delta_{3,l,l+1}f(x,y) = f(x, \delta_l - \rho),$$

$$\Delta_{4,l,l+1}f(x,y) = f(x, \gamma_{l+1} + \rho).$$

Ведемо до розгляду такой оператор

$$\Theta_2f(x,y) = \begin{cases} f_{2,l}(x,y) & (x,y) \in D_{2,l}, l = \overline{1, n}; \\ T_{2,l,l+1}f(x,y) & (x,y) \in \overline{D}_{2,l,l+1}, l = \overline{1, n-1} \end{cases}$$

Поверхня  $z = \Theta_2f(x,y)$  є наближеною математичною моделлю поверхні  $\Sigma$ , яка на кожній смугі  $D_{2,l}$ ,  $l = \overline{1, n}$  точно відновлює поверхню, а між смугами зображує поверхню за допомогою оператора  $T_{2,l,l+1}f(x,y)$ .

*Зауваження 5.* Якщо  $\rho = 0$ , то отримуємо стандартний метод інтерстріпації на системі горизонтальних смуг, описаний у [11].

## 3. Інтерстріпація на системі взаємоперпендикулярних смуг

Вважаємо, що зображення поверхні  $\Sigma$  відоме лише на системі  $m$  ( $m \geq 2$ ) вертикальних смуг  $D_{1,k}$ ,  $k = \overline{1, m}$ , та на системі  $n$  ( $n \geq 2$ ) горизонтальних смуг  $D_{2,l}$ ,  $l = \overline{1, n}$ .

В результаті їх об'єднання отримуємо набір прямокутних областей

$$\overline{\Pi}_{k,l} = [\beta_k, \alpha_{k+1}] \times [\delta_l, \gamma_{l+1}], k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1},$$

інформацію в яких треба відновити.

Ведемо до розгляду такой оператор

$$T_{1,2,k,l}f(x,y) = (T_{1,k,k+1} + T_{2,l,l+1} - T_{1,k,k+1}T_{2,l,l+1})f(x,y) =$$

$$= \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \Delta_{1,k,k+1}f(x,y) + \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \Delta_{2,k,k+1}f(x,y) +$$

$$+ \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} \Delta_{3,l,l+1}f(x,y) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} \Delta_{4,l,l+1}f(x,y) -$$

$$- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} \Delta_{1,k,k+1} \Delta_{3,l,l+1}f(x,y) -$$

$$- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} \Delta_{1,k,k+1} \Delta_{4,l,l+1}f(x,y) -$$

$$- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} \Delta_{2,k,k+1} \Delta_{3,l,l+1}f(x,y) -$$

$$- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} \Delta_{2,k,k+1} \Delta_{4,l,l+1}f(x,y).$$

Оператори  $\Delta_{1,k,k+1}f(x,y)$ ,  $\Delta_{2,k,k+1}f(x,y)$ ,  $\Delta_{3,l,l+1}f(x,y)$  та  $\Delta_{4,l,l+1}f(x,y)$  наведені вище.

Ведемо до розгляду такой оператор

$$\Theta_{12}f(x,y) = \begin{cases} f_{1,k}(x,y) & (x,y) \in D_{1,k}, k = \overline{1, m}; \\ f_{2,l}(x,y) & (x,y) \in D_{2,l}, l = \overline{1, n}; \\ T_{1,2,k,l}f(x,y) & (x,y) \in \overline{\Pi}_{k,l}, \\ & k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1}. \end{cases}$$

Поверхня  $z = \Theta_{12}f(x,y)$  є наближеною математичною моделлю поверхні  $\Sigma$ , яка на кожній із смуг  $D_{1,k}$ ,  $k = \overline{1, m}$  та  $D_{2,l}$ ,  $l = \overline{1, n}$  точно відновлює поверхню, а на невідомих прямокутних областях  $\overline{\Pi}_{k,l} = [\beta_k, \alpha_{k+1}] \times [\delta_l, \gamma_{l+1}]$ ,  $k = \overline{1, m-1}$ ,  $l = \overline{1, n-1}$  зображує поверхню за допомогою оператора  $T_{1,2,k,l}f(x,y)$ .

*Зауваження 6.* Оператор  $T_{1,2,k,l}f(x,y)$  – оператор інтерлінації (від англ. *inter* – між, від англ. *line* – лінія) функції двох змінних, який при  $\rho = 0$ , є класичним оператором інтерлінації між чотирма сторонами довільного прямокутника

$$\overline{\Pi}_{k,l} = [\beta_k, \alpha_{k+1}] \times [\delta_l, \gamma_{l+1}], k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1},$$

наведеним у [12] та [13].

## 4. Інтерстріпація на системі кадрів

Як і у випадку текстурної інтерстріпації вважаємо, що зображення поверхні  $\Sigma$  відоме лише на системі  $m$  ( $m \geq 2$ ) вертикальних смуг  $D_{1,k}$ ,  $k = \overline{1, m}$ , та на системі  $n$  ( $n \geq 2$ ) горизонтальних смуг  $D_{2,l}$ ,  $l = \overline{1, n}$ .

В результаті їх перетину отримуємо набір відомих прямокутних областей зображення (кадрів)

$$D = \Pi_{k,l} = [\alpha_k, \beta_k] \times [\gamma_l, \delta_l], k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}.$$

Невідома область зображення в цьому випадку являє собою систему вертикальних смуг

$$\overline{D}_{1,k,k+1}, k = \overline{1, m-1}$$

та горизонтальних смуг

$$\overline{D}_{2,l,l+1}, l = \overline{1, n-1}.$$

Ведемо до розгляду наступні оператори

$$\Theta_3 f(x, y) = \begin{cases} T_{1,k,k+1}(x, y) & (x, y) \in \overline{CD}_{1,2}; \\ T_{2,l,l+1}(x, y) & (x, y) \in \overline{CD}_{2,1}; \\ f(x, y) & (x, y) \in \Pi_{k,l}, k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}. \end{cases}$$

$$\Theta_4 f(x, y) = \begin{cases} \Theta_3(x, y) & (x, y) \notin \overline{UD}_{1,2,k,l}; \\ T_{1,2,k,l}[\Theta_3 f(x, y)] & (x, y) \in \overline{UD}_{1,2,k,l} \end{cases}$$

де

$$\overline{CD}_{1,2} = \overline{D}_{1,k,k+1} \setminus \overline{D}_{2,l,l+1}, k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1}$$

$$\overline{CD}_{2,1} = \overline{D}_{2,l,l+1} \setminus \overline{D}_{1,k,k+1}, k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1}$$

$$\overline{UD}_{1,2,k,l} = \overline{D}_{1,k,k+1} \cap \overline{D}_{2,l,l+1}, k = \overline{1, m-1}, l = \overline{1, n-1}$$

Відновлення зображення в цьому випадку відбувається в два етапи. Спершу до зображення застосовується оператор  $\Theta_3 f(x, y)$ , До отриманої поверхні  $z = \Theta_3 f(x, y)$  застосовується оператор  $\Theta_4 f(x, y)$ .

Поверхня  $z = \Theta_4 f(x, y)$  є наближеною математичною моделлю поверхні  $\Sigma$ , яка на кожному із кадрів

$$\Pi_{k,l} = [\alpha_k, \beta_k] \times [\gamma_l, \delta_l], k = \overline{1, m}, l = \overline{1, n}$$

точно відновлює поверхню, а на невідомих смугах  $\overline{D}_{1,k,k+1}, k = \overline{1, m-1}$  та  $\overline{D}_{2,l,l+1}, l = \overline{1, n-1}$  зображує поверхню за допомогою операторів  $\Theta_3 f(x, y)$  та  $T_{1,2,k,l}[\Theta_3 f(x, y)]$ .

### 5. Обчислювальний експеримент

Для проведення обчислювальних експериментів було взято тестове зображення, з якого для кожного експерименту штучно були видалені смуги для їх подальшого відновлення викладеним вище методом інтерстріпації.

Результати цих експериментів наведені на рис. 1–4.

### Висновки

В роботі наведені та проаналізовані такі класи алгоритмів: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях з частинними похідними, гібридні та швидкі напівавтоматичні. Okремо було розглянуто метод інтерстріпації функції двох змінних. На основі методу інтерстріпації у даній статті було запропоновано модифікований метод інтерстріпації для відновлення зображення поверхні за неповною інформацією про неї. Було проведено обчислювальний експеримент для випадків коли



а



б

Рис. 1. Результати проведення експерименту для інтерстріпації на серії вертикальних смуг (а – пошкоджене зображення, б – відновлене зображення)

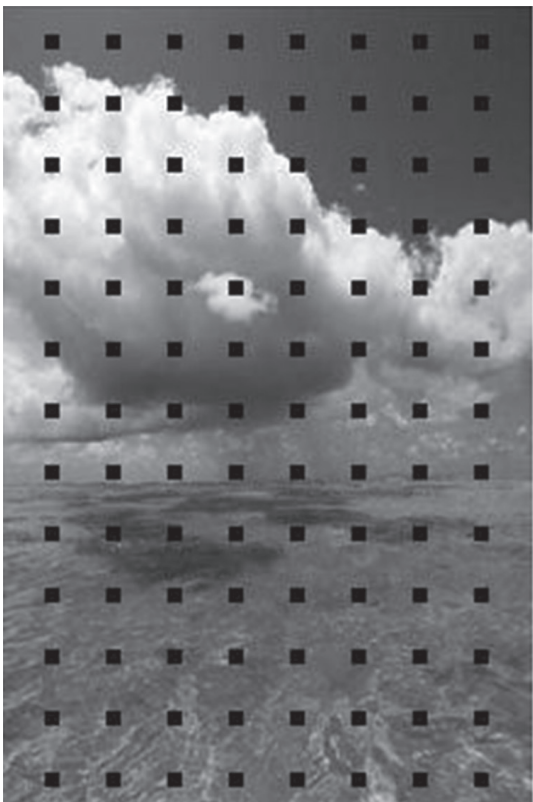


*a*



*б*

Рис. 2. Результати проведення експерименту для інтерстріпації на серії горизонтальних смуг (*a* – пошкоджене зображення, *б* – відновлене зображення)

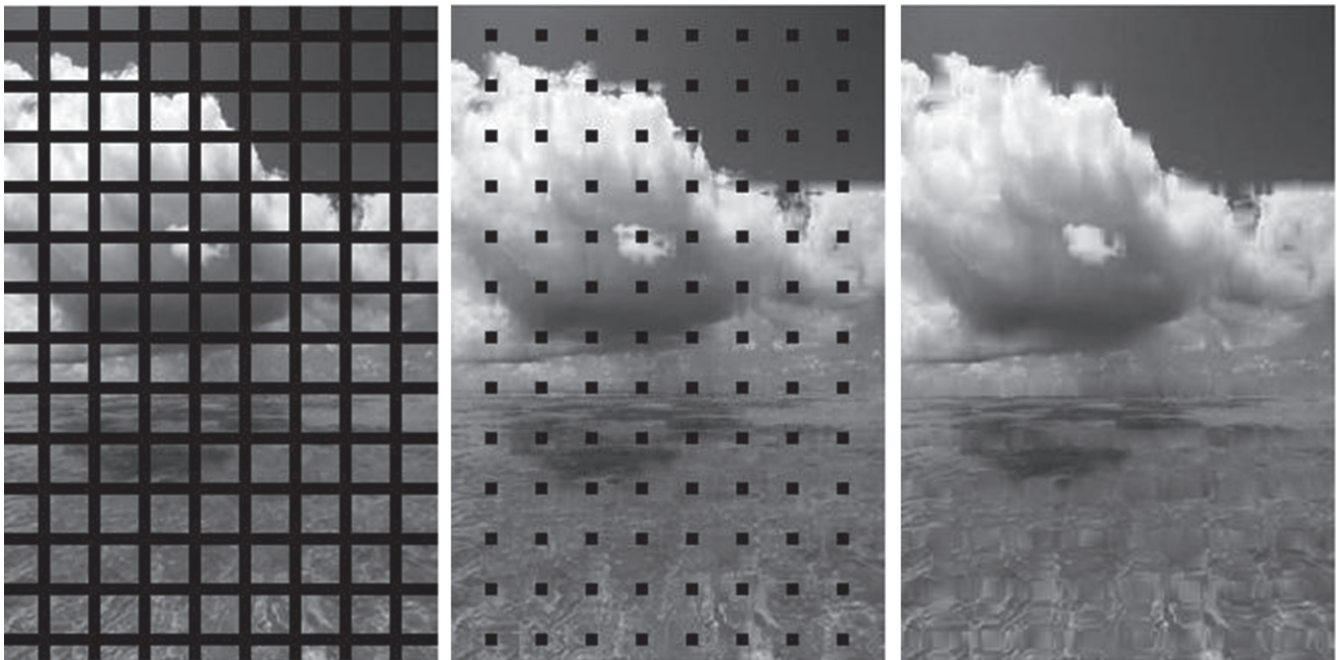


*a*



*б*

Рис. 3. Результати проведення експерименту для інтерстріпації на серії взаємоперпендикулярних смуг (*a* – пошкоджене зображення, *б* – відновлене зображення)



**Рис. 4.** Результати проведення експерименту для інтерстріпації на серії кадрів  
(*а* – пошкоджене зображення, *б* – проміжний крок, *в* – відновлене зображення)

зображення відоме лише на системі горизонтальних, вертикальних, взаємоперпендикулярних смуг та на системі кадрів.

Наведений метод інтерстріпації (як і стандартний метод інтерстріпації) не використовує додаткову інформацію про структуру поверхні між смугами, тобто на невідомих ділянках зображення. В подальшому автори планують дослідити метод текстурної інтерстріпації, в якому буде враховуватися додаткова інформація про деякі властивості зображення між смугами.

Аналіз і розробка методів відновлення зображень є актуальною задачею для різноманітних прикладних областей та потребує подальших досліджень.

#### Список літератури:

1. Joshua J., Darsan G. Digital inpainting techniques – a survey // International journal of latest research in engineering and technology. – 2016. – vol. 2. – pp. 34–36. 2. Heeger D. J., Bergen J.R. Pyramid-based texture analysis/synthesis // In Proc. of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 1995. – vol. 29. – pp. 229–233. 3. Yamauchi H., Haber J., Seidel H. Image restoration using multiresolution texture synthesis and image inpainting // In Computer Graphics International. – 2003. – pp. 120–125. 4. Criminisi A., Perez P., Toyama K. Region

filling and object removal by exemplar-based inpainting // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – vol. 13. – pp. 1200–1212. 5. Drori I., Cohen-Or D., Yeshurun H. Fragment – based image completion // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2003. – pp. 303–312. 6. Hays J., Efros A. Scene completion using millions of Graphics // Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH). – 2007. 7. Bertalmio M., Sapiro G., Caselles V., Ballester C. Image inpainting // Proc. of the 27th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques. – 2000. – pp. 417–424. 8. Tschumperl D., Deriche R. Vector-valued image regularization with PDE's: A common framework for different applications // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2005. – vol. 27. – pp. 506–517. 9. Sun J., Yuan L., Jian J., Shum H.-Y. Image completion with structure propagation // In Proc. of ACM Conf. Comp. Graphics. – 2005. – pp. 1–8. 10. Oliviera M., Bowen B., McKenna R., Chang Y.-S. Fast digital image inpainting // In Proc. of Intl. Conf. on Visualization, Imaging and Image Processing. – 2001. – pp. 261–266. 11. Матвеева С. Ю. Математичне моделювання поверхні тіла методами інтерстріпації функцій за даними радіолокації : Дис. канд. фіз.-мат. наук / Матвеева Світлана Юріївна. – Харків, 2014. – 126 с. 12. Литвин О. М. Інтерлінація функцій. – Харків: Основа, 1992. – 234 с. 13. Литвин О. М. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. – Харків: Основа, 2002. – 544 с.

Надійшла до редакції 09.11.2016.