

УДК 623.618.2

В.О. Павлій

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

УДОСКОНАЛЕНИЙ ІТЕРАТИВНИЙ МЕТОД ЛАНДВЕБЕРА ОБРОБКИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ В УМОВАХ РОЗФОКУСУВАННЯ ТА ЗМАЗУВАННЯ

У статті запропоновано удосконалений ітеративний метод Ландвебера обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування при невідомій функції розмиття точки. Запропоновано використання матриці демпфування для придушення обрамляючих ефектів на краях оптико-електронного зображення. Проведена оцінка якості обробки оптико-електронного зображення з використанням удосконаленого ітеративного методу Ландвебера.

Ключові слова: оптико-електронне зображення, розфокусування, змазування, деконволюція, ітеративний алгоритм, відновлення зображення.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо [1 – 7], що для обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування використовують наступні методи:

– методи «несліпої» деконволюції, коли відома функція розмиття точки (ФРТ);

– методи сліпої деконволюції при невідомій ФРТ.

При невідомій ФРТ використовують такі основні методи обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування і змазування:

- ітеративний метод Ван Кіттерта [1, 2];
- ітеративний метод сліпої деконволюції [1, 7];
- ітеративний метод Люсі-Річардсона [2 – 4];
- модифікований метод Люсі-Річардсона [2 – 4];
- ітеративний метод Ландвебера [5 – 7].

Встановлено, що найбільш ефективним з точки зору якості відновленого зображення є ітеративний метод Ландвебера, який знижує вплив шумів на якість зображення, однак при цьому виникають обрамляючі ефекти на краях зображення [5 – 7]. Наявність обрамляючих ефектів впливає на якість подальшої прив'язки оптико-електронного зображення та проведення дешифрування оптико-електронного зображення [6, 7].

Мета статті – розробити удосконалений ітеративний метод Ландвебера обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування з придушенням обрамляючого ефекту.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Найпростіший ітеративний метод обробки оптико-електронних зображень в умовах розфокусування та змазування при невідомій ФРТ запропоновано Ван Кіттертом [1, 2], відповідно до якого вираз для відновлення зображення на $(n + 1)$ кроці може бути записаний таким чином:

$$f^{n+1}(x, y) = f^n(x, y) + (g(x, y) - h(x, y) * f^n(x, y)), \quad (1)$$

де $f^{n+1}(x, y)$, $f^n(x, y)$ – відновлені зображення на $(n + 1)$ і n кроці ітерації відповідно; $g(x, y)$ – вихідне зображення; $h(x, y)$ – ФРТ; $*$ – операція згортки.

Ітеративний метод сліпої деконволюції передбачає введення функціоналу (2) [1, 7]:

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

де α , β – параметри регуляризації; $\|\cdot\|$ – евклідова норма. При переході до перетворення Фур'є функціонал (2) можна переписати як

$$J(F(u, v), H(u, v)) = |H^*(u, v)F(u, v) - G(u, v)|^2 + \alpha \cdot |F(u, v)|^2 + \beta \cdot |H(u, v)|^2, \quad (3)$$

де відповідними буквами позначені образи у частотній області.

Мінімум функціонала (3) знайдемо з умов (4), (5):

$$\frac{\partial J(F(u, v), H(u, v))}{\partial F(u, v)} = 0, \quad (4)$$

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

звідки для n -ої ітерації:

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

Вираз (6) дійсний для моделі ідеального спотворення з нульовою фазою. Оскільки фази ідеального та спотвореного зображень співпадають [7], то аналогічно (6):

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

Рівняння (6), (7) з початковими умовами $F_{(n=0)}(u, v) = G(u, v)$, $H_{(n=0)}(u, v) = 1$ дозволяють вирішити задачу обернення згортки. Вхідними параметрами є константи регуляризації α , β і параметр N , який задає максимальну кількість внутрішніх ітерацій.

З практичної точки зору доцільно здійснити перехід з частотної до просторової області, при цьому з'являється додатковий параметр – кількість зовнішніх ітерацій [7].

При використанні ітеративного методу сліпої деконволюції (6), (7) значно посилюються шуми на частотах, які відповідають малим значенням Фур'є-образа ФРТ. Для зменшення указаних шумів розглянемо ітеративний метод Ландвебера [5 – 7].

Ітеративний метод Ландвебера передбачає відновлення зображення проводити у відповідності з виразом (8) [5 – 7]:

$$f^{n+1}(x, y) = f^n(x, y) + \beta h^T(x, y)(g(x, y) - h(x, y) * f^n(x, y)), \quad (8)$$

де β – константа регуляризації; $h^T(x, y)$ – транспонована матриця $h(x, y)$.

Використання множника $\beta h^T(x, y)$ обумовлено зниженням впливу шумів зображення на якість його відновлення [5 – 7].

Також при обробці зображень використовують ітеративний метод Люсі-Річардсона, який передбачає відновлення зображення проводити у відповідності з виразом (9) [2 – 4]:

$$f^{n+1}(x, y) = f^n(x, y) \left(\hat{h}(x, y) * \frac{g(x, y)}{h(x, y)f^n(x, y)} \right), \quad (9)$$

де $\hat{h}(x, y)$ - оціночне значення ФРТ.

Модифікований метод Люсі-Річардсона передбачає відновлення зображення проводити у відповідності з виразом (10) [2 – 4]:

$$f^{n+1}(x, y) = f^n(x, y) \exp \left(\hat{h}(x, y) * \frac{g(x, y)}{h(x, y)f^n(x, y)} - 1 \right). \quad (10)$$

На рис. 1 наведені оптико-електронні зображення міста Фаллуджа (Ірак) [8]. На рис. 1, а - зображення в умовах розфокусування та змазування з космічного апарату дистанційного зондування Землі Ikonos [8], на рис. 1, б – відновлене зображення з використанням ітеративного методу Ландвебера – вираз (8).

З аналізу рис. 1 видно, що ітеративний метод Ландвебера за рахунок використання множника $\beta h^T(x, y)$ знижує вплив шумів на якість зображення. Однак при цьому виникають обрамляючі ефекти на краях зображення.



Рис. 1. Оптико-електронні зображення (Фаллуджа, Ірак): а – зображення в умовах роз фокусування та змазування; б – відновлене зображення з використанням ітеративного методу Ландвебера (8)

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Поставимо задачу удосконалення ітеративного методу Ландвебера з придушенням обрамляючого ефекту на краях оптико-електронного зображення.

Для придушення обрамляючих ефектів на краях оптико-електронного зображення введемо в розгляд матрицю демпфування, елементи якої представляють дисперсію зображення:

$$D(x, y) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (A_i - m_A)^2, \quad (11)$$

де N - кількість елементів вибірки; A_i - яскравість i -го елемента зображення; $m_A = \sum_{i=1}^N A_i / N$ - математичне сподівання вибірки.

Оцінка дисперсії відповідно виразу (11) проводиться на кожній ітерації методу Ландвебера. При цьому дисперсія оцінюється по всьому зображенню методом ковзаючого вікна, відповідно, число елементів вибірки відповідає числу елементів у ковзаючому вікні. Під нормованим значенням $D_{\text{норм}}(x, y)$ розуміється значення:

$$D_{\text{норм}}(x, y) = D(x, y) / D_{\text{max}}(x, y), \quad (12)$$

де $D_{\text{max}}(x, y)$ – максимальне значення матриці демпфування у межах ковзаючого вікна.

Для проведення подальших розрахунків інвертуємо нормовану матрицю демпфування і отримуємо матрицю $(1 - D_{\text{норм}}(x, y))$. На гладких ділянках зображення (ділянки постійної яскравості) нормована дисперсія має значення, що є близькими до нуля, відповідно, значення $(1 - D_{\text{норм}}(x, y))$ близько до одиниці. На ділянках, де є зміна яскравості (ділянки з обрамляючим ефектом) нормована дисперсія має значення, що є близьким до одиниці, відповідно, значення $(1 - D_{\text{норм}}(x, y))$ близько до нуля.

Таким чином, для придушення обрамляючих ефектів на краях зображення удосконалений ітеративний метод сліпої деконволюції Ландвебера передбачає обчислення на $(n+1)$ шагу ітерації виразу:

$$f^{n+1}(x, y) = f^n(x, y)(1 - D_{\text{норм}}(x, y)) + \beta h^T(x, y)(g(x, y) - h(x, y) * f^n(x, y)(1 - D_{\text{норм}}(x, y))). \quad (13)$$

З аналізу виразу (13) видно, що у порівнянні з класичним ітеративним методом Ландвебера (вираз (8)) удосконалений ітеративний метод Ландвебера передбачає використання множника $(1 - D_{\text{норм}}(x, y))$.

Результати роботи удосконаленого ітеративного методу сліпої деконволюції Ландвебера при обробці зображення (рис. 1, а) наведені на рис. 2, б. На рис. 2, а повторене зображення з рис. 1, б, яке відновлене з використанням класичного ітеративного методу Ландвебера та на краях якого присутні обрамляючі ефекти.

Порівнюючи рис. 2, а і рис. 2, б бачимо, що на рис. 2, б придушені обрамляючі ефекти без істотної втрати якості обробки на інших ділянках оптико-електронного зображення.

При використанні удосконаленого ітеративного методу Ландвебера актуальним є питання щодо кількості проведених ітерацій по відновленню оптико-електронного зображення.



а

б

Рис. 2. Оптико-електронні зображення (Фаллуджа, Ірак): а) відновлене зображення з використанням класичного ітеративного методу Ландвебера (вираз (8)); б) відновлене зображення з використанням удосконаленого ітеративного методу Ландвебера (вираз (13))

При виконанні розрахунків приймалося, що кількість ітерацій дорівнює 20, при цьому враховувалося, що візуальна якість зображення після відновлення зображення є задовільною.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНЫЙ ИТЕРАТИВНЫЙ МЕТОД ЛАНДВЕБЕРА ОБРАБОТКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАСФОКУСИРОВАНИЯ И СМАЗЫВАНИЯ

В.А. Павлий

В статье предложен усовершенствованный итеративный метод Ландвебера обработки оптико-электронных изображений в условиях расфокусирования и смазывания при неизвестной функции размытия точки. Предложено использование матрицы демпфирования для устранения обрамляющих эффектов на краях оптико-электронного изображения. Проведена оценка качества обработки оптико-электронного изображения с использованием усовершенствованного итеративного метода Ландвебера.

Ключевые слова: оптико-электронное изображение, расфокусирование, смазывание, деконволюция, итеративный алгоритм, восстановление изображения.

LANDWEBER'S ADVANCED ITERATIVE METHOD OF PROCESSING OPTOELECTRONIC IMAGES FOR DEFOCUSED AND BLURED OPTOELECTRONIC IMAGES

V.O. Pavliy

In the article the advanced Landweber's iterative method of processing of optoelectronic images in conditions of defocusing and blur at unknown point spread function is offered. The use of damping matrix for elimination of framing effects at the edges of the optoelectronic image is proposed. The processing quality for the optoelectronic image with the use of an advanced Landweber's iterative method is evaluated.

Keywords: the optiko-electronic image, nofocusing, greasing, deconvolution, iterative algorithm, image restoration.

Висновки

Таким чином, удосконалений ітеративний метод Ландвебера обробки оптико-електронних зображень, на відміну від класичного ітеративного методу Ландвебера, передбачає використання матриці демпфування та відновлення зображення відповідно виразу (13). При цьому відбувається придушення обрамляючих ефектів на краях оптико-електронного зображення. У подальших дослідженнях необхідно провести оптимізацію кількості ітерацій при використанні удосконаленого ітеративного методу Ландвебера обробки оптико-електронних зображень.

Список літератури

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Новейшие методы обработки изображений / [А.А. Потапов, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, А.А. Пахомов, В.А. Герман]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 456 с.
3. Lucy L.B. An iterative technique for the rectification of observed distributions / L.B. Lucy // The Astronomical Journal, 1974. – Vol. 79. – № 6. – P. 745-754.
4. Richardson W.H. Bayesian-Based iterative method of image restoration / W.H. Richardson // Journal of Optical Society of America, 1970. – Vol. 62. – № 1. – P. 55-59.
5. Маковейчук О.М. Алгоритми реставрації дефокусованих зображень / О.М. Маковейчук, В.О. Подліпаєв // Системи озброєння і військова техніка / – 2005. – № 3-4. – С. 99-103.
6. Landweber L. An iteration formula for Fredholm integral equations of the first kind / L. Landweber // Amer. J. Math., 2009. – Vol. 73. – P. 615-624.
7. Павлий В.А. Анализ известных методов восстановления оптико-электронных изображений, искаженных смазом / В.А. Павлий, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 6 (113). – С. 118-121.
8. Сайт американской компании Space Image. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.spaceimaging.com/gallery/default.htm>.

Надійшла до редколегії 28.07.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.