

2. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. – том 166. – № 11 – С. 1145-1170.
3. Переберин А. В. О систематизации вейвлет-преобразований. / Вычислительные методы и программирование, 2001. – Т. 2:
4. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. – 2001. – том 171. – № 5 – С. 465-501.
5. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження, К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.

<p>Захарченко В.С., Колобродов В.Г. Разработка универсальных вейвлет-базисов для задач повышения качества изображения Исследована методика построения базисных функций для вейвлет-преобразования, разработаны универсальные базисы, согласованные с конструктивными параметрами оптических систем.</p>	<p>Zakharchenko V.S., Kolobrodov V.G. Design of universal wavelet-basis for image enhancement The methods of design of wavelet basis functions had been investigated. The new wavelet basis compatible to optical system parameters had been developed.</p>
--	--

*Надійшла до редакції
21 травня 2008 року*

УДК 681.586.5

ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ, СПОТВОРЕНИХ ЛІНІЙНИМ РІВНОМІРНИМ РУХОМ

*Микитенко В.І., Рибалко М.С., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Запропоновано метод підвищення роздільної здатності зображень, спотворених вібраціями – метод неконтрольованого мікросканування. Приведені результати тестування запропонованого методу на штучних та реальних зображеннях

Вступ

Під час реєстрації зображення цифровою оптико-електронною системою відбувається природна втрата просторового розділення внаслідок:

- оптичних спотворень (розфокусування, дифракційні обмеження, аберації);
- дискретизації зображення приймачем випромінювання (накладення спектрів);
- руху платформи, вібрацій;
- шуму, який виникає в електронному тракті або в процесі передачі інформації.

В разі космічних спостережень зображення спотворені ще й атмосферою внаслідок турбулентності та наявності на трасі спостереження аерозолів.

Експериментально доведено [1], що найбільші спотворення зображення викликає рух платформи та вібрації. На практиці вібрації можна мінімізувати,

але повністю усунути – неможливо. Тому важливою проблемою є отримання зображень високого розділення в умовах вібрацій.

На даний момент вищезгадану проблему долають вирішенням двох окремих задач:

- відновлення зображень, спотворених вібраціями [1];
- підвищення просторової роздільної здатності зображень за рахунок методів суперрозділення [2].

Для вирішення цих задач використовують спеціальні методи [1, 3-8]. Але вони мають певні недоліки, а саме: необхідність апріорної інформації про умови зйомки, ускладнення конструкції внаслідок використання додаткових механічних елементів, необхідність великої кількості ітерацій при обрахунках та інші.

Постановка задачі

В роботі ми спробуємо об'єднати вищезгадані підходи, а саме – відновити зображення, спотворені вібраціями, і одночасно підвищити просторове розділення. Розглядувати будемо низькочастотні вібрації (рис. 1), оскільки вони викликають найбільші спотворення зображення.

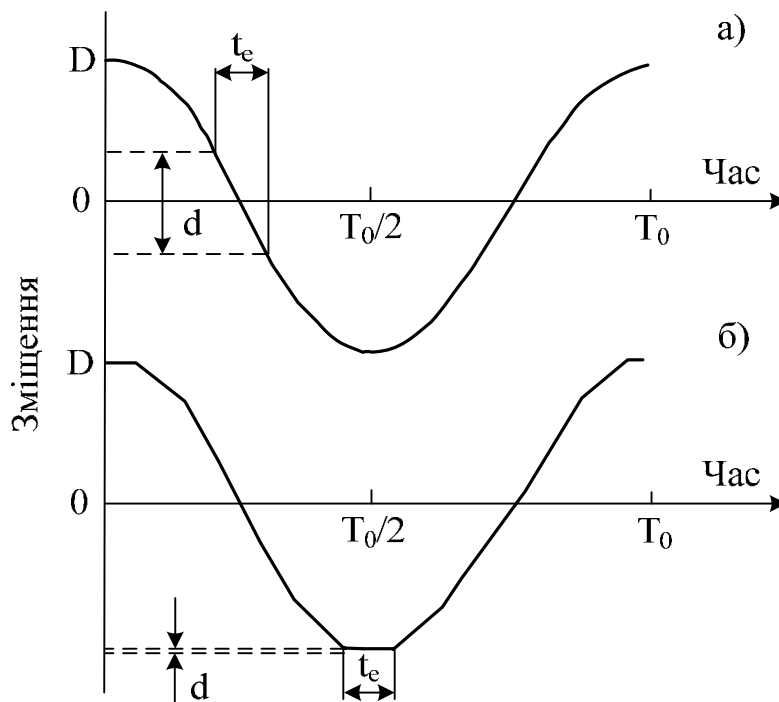


Рис. 1. Низькочастотна вібрація:
 T_0 – період вібрації; D – амплітуда вібрації;
 t_e – час експозиції; d – радіус плями змазу

На певних інтервалах (рис. 1) синусоїдальна вібраційна крива має лінійний характер і при певних умовах її можна повністю апроксимувати лінійними функціями. З урахуванням цього розглянемо підвищення роздільної здатності зображень, спотворених лінійним рівномірним рухом.

Для цього пропонуємо метод неконтрольованого мікросканування. Цей метод є аналогічним методу в [9],

багато в чому схожий на традиційне мікросканування [10, 11], але має й свої особливості.

Всі розрахунки та моделювання реалізовані за допомогою програми MATLAB.

Метод неконтрольованого мікросканування

Реалізація методу неконтрольованого мікросканування має дві стадії: реєстрацію та відновлення. На стадії реєстрації визначається величина зсуву між зображеннями низької роздільної здатності з точністю до долей пікселя. Стадія відновлення має два етапи:

- власне відновлення (компенсація зміщення між зображеннями на ціле число пікселів);
- підвищення роздільної здатності (внаслідок субпіксельних зміщень між зображеннями).

Існує кілька способів реєстрації [12]: кореляційний, градієнтний, частотний, фазовий. Проте найбільш стійким при наявності шумів та накладенні спектрів є метод нормалізованої взаємної кореляції, саме його будемо використовувати для розрахунків.

Суть даного методу полягає в наступному: одне із зображень розділюється на так звані блоки пошуку розміром $m \times n$ ($m = n = 16$ пікселів, виходячи із компромісу “точність – обчислювальна складність”). Інше зображення “сканується” по черзі кожним з цих блоків у межах області пошуку до знаходження максимуму відповідності (зміщені блоки). Потім встановлюється величина та напрямок зміщення між центрами блоку пошуку та зміщеного блоку. Так повторюється для кожної пари “блок пошуку – відповідний блок зміщення”. В наслідок цього отримуємо векторне поле зміщень кожного блоку в зображенні.

Слід зазначити, що крім графічного зображення векторного поля зміщень, отримуємо також числові значення величини та напрямку зміщення кожного блоку зображення в робочій області програми MATLAB.

Визначивши величину і напрямок змазу, знаходимо модуляційну передавальну функцію лінійного руху, яка є sinc функцією [1]:

$$\tau(f_x) = \begin{cases} |\sin c(\pi f_x d)|, & f_x \leq d^{-1} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (1)$$

де d – ширина плями змазу; f_x – просторова частота.

Знаючи модуляційну передавальну функцію лінійного руху, що спотворює зображення, відновлюємо його в програмі MATLAB за допомогою фільтра Вінера:

$$M(f_x) = \frac{1}{\tau(f_x)} \cdot \frac{|\tau(f_x)|^2}{|\tau(f_x)|^2 + \Gamma}, \quad (2)$$

де Γ – відношення сигнал/шум. Аналогічні формули можна отримати для другої координати.

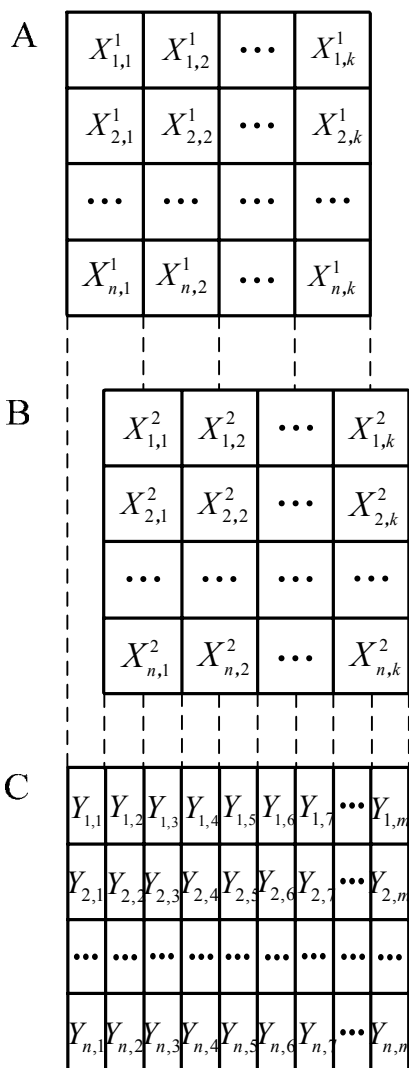


Рис. 2. Алгоритм мікросканування

Для підвищення просторової роздільної здатності використовуємо алгоритм, закладений в мікроскануванні, який зображено на рис. 2. Зображення представлені в матричному вигляді: *A* – зображення з пониженою дискретизацією розміром $n \times k$, *B* – зображення з пониженою дискретизацією, зміщене відносно *A* на 0,5 пікселя в горизонтальному напрямку, розміром $n \times k$, *C* – зображення з підвищеною роздільною здатністю розміром $n \times k$, де $m = 2k + 1$. Для знаходження значення кожного пікселя нового зображення були виведені наступні формули:

$$Y_{k, \text{парне}} = \sum_{i=1}^{k/2} 2 \cdot X_{k/2+1-i}^1 - 2 \cdot X_{k/2+1-(i+1)}^2 - X_1^1, \quad (3)$$

$$Y_{k, \text{непарне}} = \sum_{i=1}^{(k-1)/2} 2 \cdot X_{(k-1)/2+1-i}^2 - 2 \cdot X_{(k-1)/2+1-i}^1 + X_1^1, \quad (4)$$

де X^1 – відліки яскравості першого зображення, X^2 – відліки яскравості другого зображення, Y_k – відліки яскравості зображення з підвищеною роздільною здатністю; множник 2 виконує функцію нормування, щоб енергія, яка приходить на приймач випромінювання, дорівнювала енергії результуючого зображення.

Після обробки (рис. 2) отримуємо зображення з підвищеною роздільною здатністю. При цьому покращення роздільної здатності відбувається лише в горизонтальному напрямку. Тобто, маючи

два зображення із субпіксельним зміщенням на основі різницевої відмінності, отримуємо нове зображення з підвищеною частотою дискретизації вздовж напрямку руху.

Згідно вибраного методу в програмі Matlab було написано програму для розрахунку величини та напрямку зміщення між двома зображеннями (програма працює із зображеннями розміром 256×256 пікселів). Реалізація програми можлива завдяки ресурсам Image Processing Toolbox (блоку обробки зображень).

Розроблена програма була використана для визначення величини та напрямку зміщення між зображеннями, отриманими цифровою камерою (рис. 3), та змодельованими в пакеті Matlab (рис. 4 (а-в)).

Результати представлені на рис. 4 (г-д) та на рис.5. На рис. 4 (е-ж) подані результати відновлення змазаних зображень за допомогою фільтра Вінера. На рис. 6 представлені результати відновлення з одночасним підвищенням просторового розділення.



Рис. 3. Оригінальне зображення

На рис. 7 подані результати відновлення зображень за допомогою фільтра Вінера, та відновлення з одночасним підвищенням просторового розділення. Порівнюючи зображення, можна зробити висновок, що відновлення з одночасним підвищенням просторового розділення дає набагато кращі візуальні результати ніж просте відновлення.



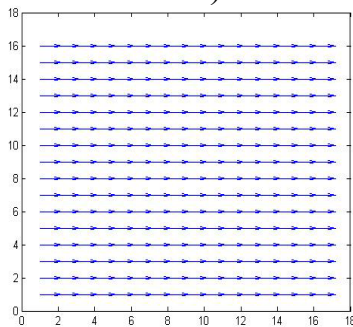
а)



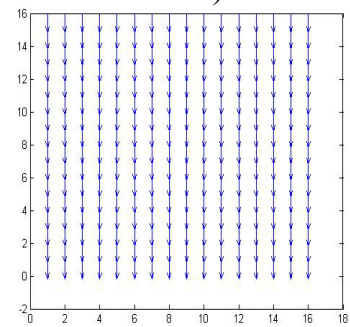
б)



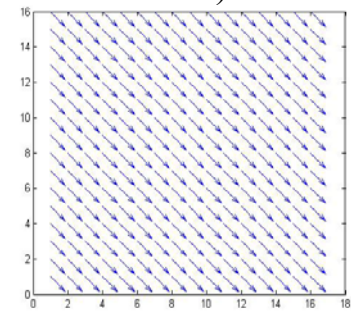
в)



г)



г)



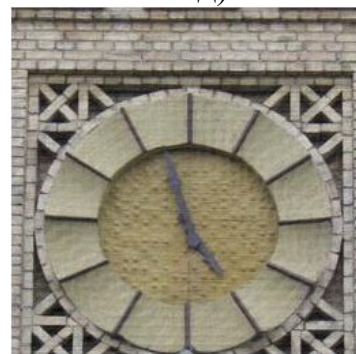
д)



е)



е)



ж)

Рис. 4. Результати визначення змазу та відновлення зображень: а)- в) зміщене зображення (а) на 7 пікселів в напрямку 0° ; б) на 7 пікселів в напрямку 270° ; в) на 7 пікселів в напрямку 0° і на 7 пікселів в напрямку 270° (9,9 пікселів в напрямку 315°)); г)- д) векторне поле зміщення; е)- ж) відновлене зображення



Рис. 5. Результати визначення змазу: а) оригінальне зображення; б) зображення, зміщене на 4.12 пікселів в напрямку 345.9° ; в) векторне поле зміщення

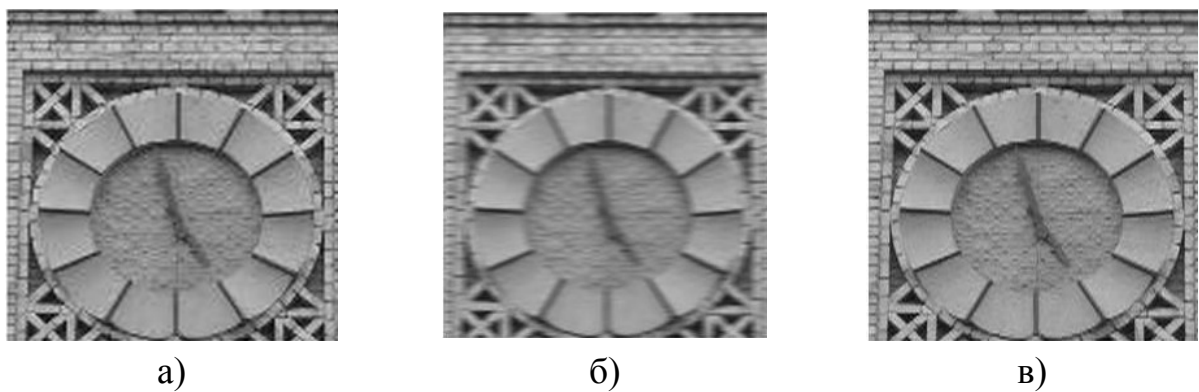


Рис.6. Відновлення зображень з одночасним підвищенням просторового розділення: а) зображення з пониженою дискретизацією; б) зображення, зміщене на 7,5 пікселя в напрямку 0° ; в) відновлене зображення

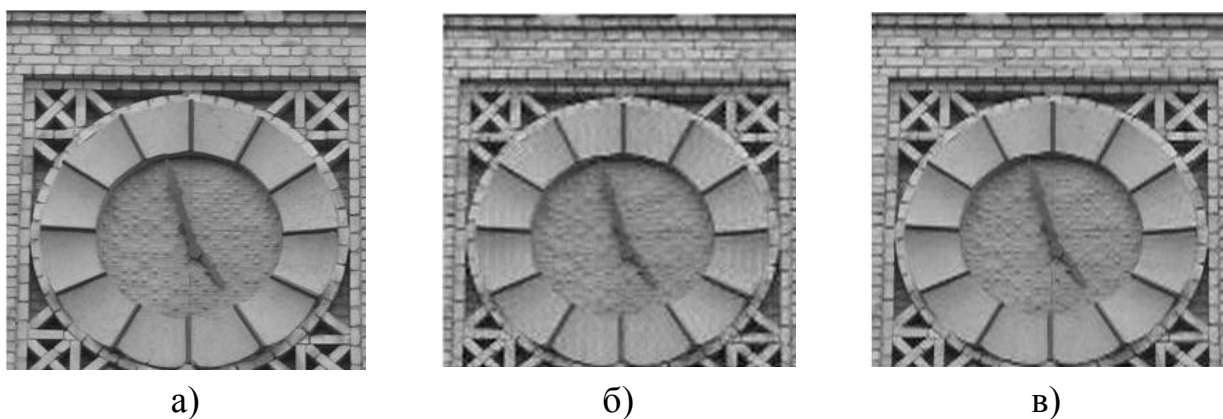


Рис. 7. Порівняння результатів: а) оригінальне зображення; б) зображення відновлене за допомогою фільтра Вінера; в) відновлене зображення з підвищеною роздільною здатністю

Отже, запропонований метод дає хороші візуальні результати при відновленні зображень, спотворених лінійним рівномірним рухом або низько-частотною вібрацією на проміжку, який зображено на рис. 1 б).

Висновки

В запропонованому методі обробки зображень, отриманих в оптико-електронних системах в умовах вібрацій і руху платформи, замість компенсації лінійні зміщення використовуються для покращення якості зображень. В результаті забезпечується ряд переваг в порівнянні з існуючими методами:

- спрощення конструкції системи формування зображення за рахунок відсутності додаткових механічних елементів;
- відсутність необхідності в апріорній інформації про параметри зйомки.

У подальших дослідженнях планується розширити застосування розробленого методу на всі проміжки вібраційної синусоїдальної кривої.

Література

1. Kopeika N. S. A System Engineering Approach to Imaging. SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, USA, 1998. – 679 p.
2. Super-resolution image reconstruction: a technical overview. // IEEE Signal Processing Magazine. – 2003. – Issue 5. – pp. 21-36
3. Hadar O., Robbins M., Novogrozky Y., Kaplan D. Image motion restoration from a sequence of images. // Optical Engineering. – 1996. – Vol. 35. – Issue 10. – pp. 2898-2904
4. Farsi S., Robinson D., Elad M., Milanfar P. Advances and challenges in super-resolution. // Imaging Syst Technol – 2004. – Vol. 14. – Issue 5. – pp. 47-57
5. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.+8 с. цв. вкл.
6. http://ru.wikipedia.org/wiki/Стабилизация_изображения
7. http://www.canon.ca/digitalphotography/english/ctech_article.asp?id=186&tid=6
8. http://www.nikon.com/about/technology/core/software/vr_e/
9. Joseph C. Gillette, Thomas M. Stadtmiller. Aliasing reduction in staring infrared imagers utilizing subpixel techniques. // Optical Engineering. 1995. – Vol. 34. – Issue 11. - pp. 3130-3137
10. Friedenber A. Microscan in infrared staring systems. // Optical Engineering. 1997. – Vol. 36. – Issue 6. - pp. 1745-1749
11. Wiltse J.M., Miller J.L. Imagery improvements in staring infrared imagers by employing subpixel microscan. // Optical Engineering. – 2005. – Vol. 44. – Issue 5. - pp. 056401
12. <http://espace.uq.edu.au/eserv/UQ:9543/BobAndrewsThesis.pdf>

<p>Микитенко В.И., Рыбалко М.С. Повышение разрешающей способности изображений, искаженных линейным равномерным движением</p> <p>Предложен метод повышения разрешающей способности изображений, искаженных вибрациями – метод неконтролируемого микросканирования. Приведены результаты тестирования предложенного метода на реальных и искусственных изображениях.</p>	<p>Mykytenko V.I., Rybalko M.S. Resolution enhancement of the images degraded by linear uniform motion</p> <p>The method of resolution enhancement of the images degraded by vibrations – uncontrolled microscanning has been suggested. Experimental results of the proposed method for real and simulated images are presented.</p>
---	--

*Надійшла до редакції
10 квітня 2008 року*