

## СУБПКСЕЛЬНА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

© Фабіровський С.Є., 2014

Наведено аналіз методів підвищення роздільної здатності, технології субпксельної обробки зображень, оцінка варіантів побудови оптичних систем. У межах роботи проаналізовано шляхи підвищення роздільної здатності, вказано переваги та недоліки методів.

Ключові слова: обробка зображень, субпксельна обробка зображень, просторова роздільна здатність, оптичний давач, ПЗЗ лінійка, інтерполяція, деконволюція, відновлення, аерокосмічне знімання, дистанційне зондування Землі.

S.E. Fabirovsky

Lviv Polytechnic National University

## SUBPIXEL IMAGE PROCESSING IN MONITORING SYSTEMS OF VISIBLE WAVELENGTHS

© Fabirovsky S.E., 2014

This paper is devoted to considering of ways to improve the resolution, principles and methods of subpixel imaging technology, assessment of the development status and the latest research developments. Modern approaches to improving the spatial resolution as the main parameter of satellite images are based on algorithmic search and design solutions as the technology of manufacturing image sensors exhaust its potential for improvement. One of the major tasks of remote monitoring is to improve the quality of images, which is determined by parameters such as resolution. Resolution of digital images, in its turn, is determined by the number of pixels of which it is composed. The need for high resolution usually is accompanied by the need to capture the largest possible surface area. However, reducing the pixel size and increasing their number is limited by technological factors and is associated with difficulties of the operation and handling. Pixel size of CCD is technology limited. Increasing of pixels number and hence the resolution will increase the size (length) of CCD line. As the result, there is need to use more expensive optics, weight of which is greater or reduce the focal length of the optical system.

The solution to this situation is the use of subpixel processing. The advantages of subpixel imaging include the possibility to increase the spatial resolution without changing the optical system. The essence of the subpixel processing is constructive two CCD lines shifted by half a pixel with respect to each other. Use of subpixel imaging technology allows to increase the resolution of the instrument, or, in case of saving a lower resolution, to reduce the focal length of the system and reduce the weight and volume of the optical system, which is crucial for monitoring systems. During subpixel imaging, there are high requirements to the board processor, memory and bandwidth of the radio frequency channel of system.

The need to increase the resolution a monitoring systems helps to find new, more effective, methods to increase resolution. The paper analyzes ways of increasing resolution the advantages and disadvantages of existing techniques are analyzed. The scope of subpixel

**processing methods in existing monitoring systems of visible wavelength range is considered. The need to further improvement monitoring systems resolution helps to find new, more effective methods of signal processing and filtering.**

**The studied modern methods of subpixel image processing effectively increase the resolution. Thus, based on the analysis, we can conclude that increasing the system resolution should be conducted by subpixel processing methods that require improvement.**

**Key words: image processing, subpixel image processing, spatial resolution, optical sensor, CCD line, interpolation, deconvolution, aerospace survey, remote sensing of the Earth, restoration.**

**Вступ.** Сьогодні у зв'язку з розвитком систем моніторингу існує потреба у підвищенні роздільної здатності цих систем. Просторова роздільна здатність є найважливішою характеристикою систем моніторингу, яка визначає можливість використання цих систем у різних галузях дистанційного зондування, таких як геологія, екологія, сільське господарство, розвідка корисних копалин, управління водними ресурсами, містобудування та інших [2–5].

Шляхами підвищення роздільної здатності систем моніторингу видимого діапазону хвиль є:

- збільшення кількості пікселів у ПЗЗ лінійці, а отже, і зменшення розміру піксела;
- збільшення геометричних розмірів лінійки;
- інтерполяція;
- субпіксельна обробка.

У кожного із вказаних шляхів є переваги та недоліки. Перевагою збільшення кількості пікселів зі збереженням геометричних розмірів ПЗЗ пристрою є збільшення роздільної здатності, при цьому роздільна здатність системи дорівнює роздільній здатності давача зображення [2]. Крім того, при цьому збільшується рівень шумів та зменшується світлочутливість системи. Якщо роздільна здатність збільшується в два рази, площа піксела зменшується в чотири рази. Зменшення розмірів піксела є технологічно обмеженим.

У разі збільшення геометричних розмірів давача необхідно використовувати оптику з більшою фокусною відстанню, що призводить до збільшення масогабаритних параметрів та ціни [1].

Істотним недоліком методу інтерполяції, описаного в [6], є наявність характерних артефактів у інтерпольованому зображенні, що погіршують точність масштабування в області різких змін яскравості. До типових артефактів належать поява ефекту зубчастого краю на похилих лініях, розмиття через обмеження під час відновлення високочастотних складових інтерпольованих даних, і ефекту Гіббса, що проявляється у вигляді паразитних хвилеподібних коливань інтерполяційної функції, відсутніх у інтерпольованому зображенні. Основним недоліком інтерполяції є неможливість точного відновлення інформації [14].

Перевагами субпіксельної обробки зображень є те, що вона дає змогу підвищити просторову роздільну здатність без зміни оптичної системи. Суть субпіксельної обробки полягає у конструктивному розміщенні двох ПЗЗ лінійок, зміщених на половину піксела одна відносно іншої. Використання субпіксельної технології знімання дозволяє підвищити роздільну здатність приладу, або, в разі збереження нижчої роздільної здатності, зменшити фокусну відстань системи і зменшити вагу та об'єм оптичної системи, що дуже важливо для систем моніторингу [1]. Під час субпіксельної обробки ставляться високі вимоги до бортового процесора, пам'яті та ширини смуги радіочастотного каналу системи [2].

**Методи субпіксельної обробки зображень.** Описаний в [4] метод субпіксельної обробки полягає у формуванні зображення високої роздільної здатності з серії зображень низької роздільної здатності. Цей метод підвищує роздільну здатність, але не враховує впливу апертури піксела [2].

В [5] описано принцип підвищення роздільної здатності цифрового зображення субпіксельного рівня роздільної здатності з використанням апертурної маски. Принцип дії полягає в тому, що у площині, близькій до фокальної, оптична система формує різке оптичне зображення віддаленого

об'єкта. В площині максимального фокусування розміщується не прозорий для оптичних променів екран. Екран складається із системи періодично розташованих діафрагм (рис. 1), що пропускають світло і формують розфокусоване зображення на ПЗЗ-лінійці того ж розміру. Екран 1 з діафрагмами називається маскою. Маска може зміщуватися вздовж напрямку, що визначається перетином фокальної площини і площини малюнка, на відстань, що дорівнює ширині діафрагми (рис. 1, б). На рис. 1 показано відповідні положення лінійки детекторів щодо маски. Сигнали детекторів у кожному з двох положень маски представляють розфокусоване зображення фрагментів, вирізаних діафрагмами із зображення у фокальній площині. Відстань між фокальною площиною і площиною лінійки детекторів вибирають такою, щоб розфокусовані зображення сусідніх фрагментів не перетиналися. У такому випадку сигнали двох детекторів 2 можуть бути однозначно пов'язані з сигналами віртуальних детекторів, поперечні розміри яких в два рази менші, ніж у реальних детекторів, розташованих на місці відповідної діафрагми. На основі цього можна отримати зображення, яке має вдвічі більшу роздільну здатність [5].

Недоліком цього методу є потреба виготовлення прецизійної маски, а також виготовлення прецизійного механізму для руху цієї маски в процесі знімання.

Для прикладу, система субпіксельної обробки встановлена в супутнику SPOT5 [7]. Вона дозволяє отримати від двох панхроматичних зображень з роздільною здатністю 5 м зображення з роздільною здатністю 2,5 – 3 м. Спеціальне програмне забезпечення для обробки зображень використовується для остаточного відновлення зображення після трьох етапів обробки: інтерполяції, деконволюції та видалення шуму.

Відомі також методи надвисокої роздільної здатності (НРЗ), алгоритми яких використовують два підходи для обчислення результуючого зображення: 1) на базі великої кількості кадрів одного об'єкта [8]; 2) застосування системи, яка самонавчається, з базою зразків. У [8, 9, 12] розглядаються методи НРЗ на основі великої кількості кадрів. За великої кількості (10–20) кадрів одного об'єкта роздільна здатність ефективно підвищується. Недоліком цього методу є те, що для його роботи потрібна значна кількість кадрів, тому використовувати цю систему можна тільки для знімання статичних об'єктів. На практиці цей підхід може використовуватися тільки для невеликого збільшення роздільної здатності [11].

У [10] запропоновано метод, в якому застосовуються статистичні алгоритми, а зразки беруться з єдиного зображення. На відміну від попереднього методу, його можна використовувати для знімання динамічних об'єктів та сцен. Автори роботи [10] порівняли свій метод з двома стандартними методами інтерполяції – методом найближчого сусіда і бікубічною інтерполяцією та методами, основаними на техніці з базою зразків, описаними в [12]. Метод, запропонований в [13], дав найкращі результати.

Отже, на основі аналізу можна зробити висновок, що підвищення роздільної здатності системи доцільно проводити методами субпіксельної обробки, які потребують удосконалення.

**Варіанти побудови оптичної системи для субпіксельної обробки.** На рис. 2 показана система субпіксельної обробки з використанням двох ПЗЗ-лінійок як детекторів [1]. Вона складається з оптичної лінзи 1, дільника оптичного променя 2 та двох однакових ПЗЗ-лінійок 3 та 3' з однаковими розмірами пікселів. Сигнали з виходів ПЗЗ лінійок надходять на аналого-цифрові перетворювачі 4 та 4', з яких оцифровані сигнали передаються на обчислювальний пристрій 5. В ньому проводяться операції синтезу, деконволюції, фільтрації шумів.

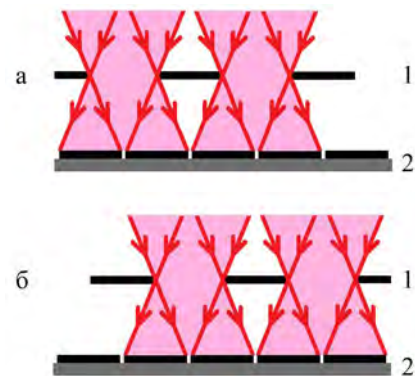


Рис. 1. Одновимірна модель системи формування двох цифрових зображень віддалених об'єктів за допомогою лінійки детекторів: 1 – маска з діафрагмами; 2 – лінійка детекторів; а, б – два різних положення лінійки детекторів відносно маски з діафрагмами

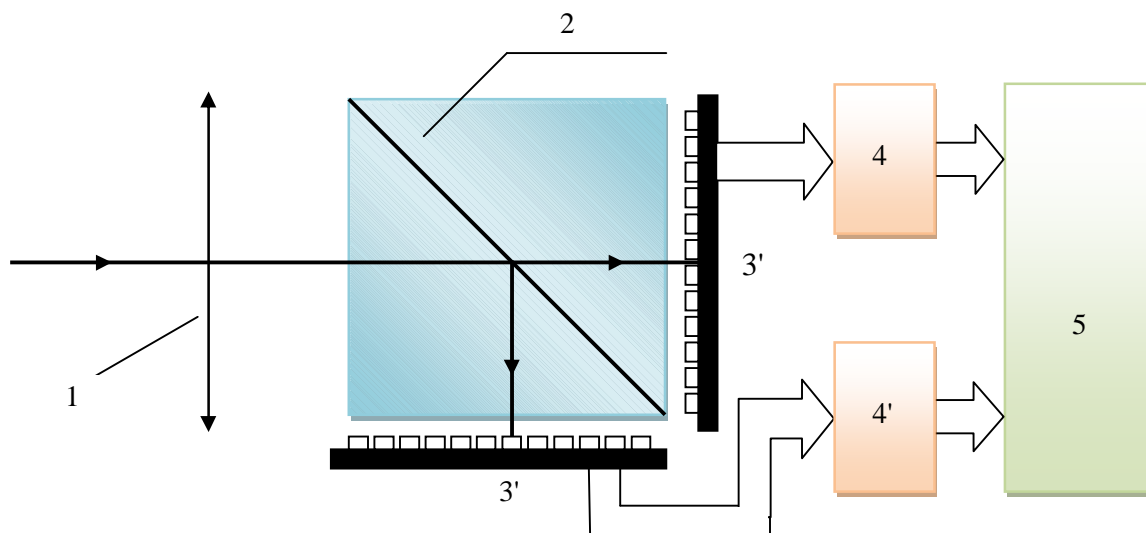


Рис. 2. Структурна схема оптичного датчика субпіксельної технології знімання:  
 1 – об’єктив; 2 – дільник оптичного променя; 3 і 3’ – дві ПЗЗ лінійки, зміщені на половину пікселя; 4 і 4’ – аналого-цифрові перетворювачі; 5 – обчислювальний пристрій

Дільник оптичного променя розділяє світло, що падає, на два промені, кожен з розділених променів потім проектується на своїй лінійці. Дві ПЗЗ-лінійки настраюються так, щоб вони були зсунуті одна відносно іншої на половину розміру пікселя [1]. Процес синтезу зображення показано на рис. 3.

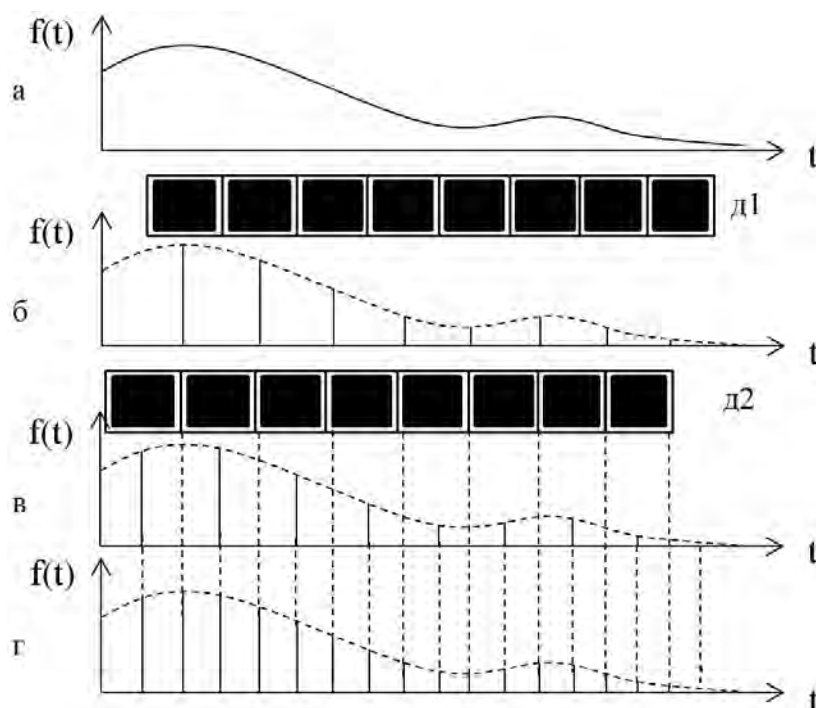


Рис. 3. Принцип субпіксельної обробки з двома ПЗЗ лінійками:  
 а – сигнал зображення оригінала; б – дискретизований сигнал з першої ПЗЗ лінійки; в – дискретизований сигнал з другої ПЗЗ лінійки;  
 г – синтезований сигнал; д1 – перша ПЗЗ лінійка; д2 – друга ПЗЗ лінійка

Як видно з рис. 3, після синтезу двох зображень низької роздільної здатності (б і в) можна отримати новий зразок сигналу – г, з вибіркою, еквівалентною половині вибірки попереднього зображення, тобто вихідний сигнал оцифровується з вищою частотою вибірки [1].

Недоліком цього методу є те, що під час проходження світла через дільник оптичного променя промінь розділяється на дві частини, тобто до кожної ПЗЗ лінійки дійде, в ідеалі, тільки половина світлового потоку, а в реальності потрібно враховувати ще незначне поглинання потоку дільником.

В [13] описана система для аерофотознімання ADS 40, камера якої складається з трьох панхроматичних каналів. Кожен панхроматичний канал складається з двох ПЗЗ лінійок, кожна з яких має 12000 пікселів, зміщених одна відносно іншої на 0,5 піксела. В цій системі дві ПЗЗ лінійки розміщені в одній площині, в одному пристрої. Перевагою є спрощення прецизійного налаштування двох лінійок, як в попередньому методі.

**Висновки.** У межах роботи проаналізовано способи підвищення роздільної здатності, вказано переваги та недоліки відомих методів. Розглянуто область застосування методів субпіксельної обробки в наявних системах моніторингу видимого діапазону хвиль. Необхідність подальшого підвищення роздільної здатності систем моніторингу сприяє пошуку нових, ефективніших методів обробки сигналів та їх фільтрації.

1. Wang Hu. *The progress of sub-pixel imaging methods* / Wang Hu, Wen Desheng // *Proceedings of the SPIE, Volume 9142, id. 91420K* 5 pp. 2014. 2. Prudyus I. *Spectral based approach to subpixel image formation* / I. Prudyus, V. Tkachenko, P. Kondratov, L. Lazko, S. Fabirovskyy // *Computational Problems of Electrical Engineering = Обчислювальні проблеми електротехніки: науково-технічний журнал / Lviv Politechnic National University; editor-in-chief Yuriy Bobalo. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – Volume 3, number 1. – P. 87–92.* 3. Stankevich S. *Satellite imagery resolution enhancement using subpixel frames acquisition* / S. Stankevich, S. Shklyar, V. Tyagur // *Journal of Information, Control and Management Systems, Vol. 11, (2013), No. 2. – P. 135–144.* 4. Селютіна Е. *Повышение разрешения цифровых изображений с использованием субпиксельного сканирования* / Е. Селютіна, С. Блажевич // *Научный аспект, Самара, Россия. – № 1, 2013. – С. 204.* 5. Блажевич С. *Синтез цифровых изображений субпиксельного уровня разрешения с использованием расфокусировки* / С. Блажевич, В. Винтаев, Н. Ушакова, Е. Селютіна // *Механика, управление и информатика. – М., 2012. – С. 127–136.* 6. Маркелов К. С. *Модель повышения информативности цифровых изображений на базе метода суперразрешения* / К. С. Маркелов // *Инженерный вестник. 03 марта 2013. – С. 525 – 542.* 7. SPOT 5 Supermode. – Retrieved from: <http://spot5.cnes.fr/gb/systeme/3110.htm>. 8. Irani M. *Improving Resolution by Image Registration* / M. Irani and S. Peleg // *CVGIP: Graphical Models and Image Proc., Vol. 53, 1991. PP. 231–239.* 9. Farsiu S. *Fast and Robust Multi-frame Super-resolution* / S. Farsiu, D. Robinson, M. Elad, and P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 10, October 2004. – P. 1327–1344.* 10. Glasner Daniel. *Super-Resolution from a Single Image* / Daniel Glasner, Shai Bagon, Michal Irani // *Computer Vision, IEEE 12th International Conference 2009. – P. 349–356.* 11. Lin Z. *Fundamental limits of Reconstruction-Based super resolution algorithms under local translation* / Lin Z, Shum H. // *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2004. – P. 83–97.* 12. Kim K. I. *Example-Based Learning for Single-Image Super-Resolution and jpeg Artifact Removal* / K. I. Kim and Y. Kwon // *Max-Planck-Institute for Biological Cybernetics, Tübingen, Germany, 2008.* 13. Pateraki Maria. *Analysis of a DSM generation algorithm for the ADS40 airborne pushbroom sensor* / Maria Pateraki and Emmanuel Baltsavia // *Optical 3D Measurement Techniques, Switzerland. 2003 P. 83–91.* 14. Пат. 2367019 Российская Федерация, МПК H 04 B 1/38, H 04 J 13/00. *Способ интерполяции цифрового изображения* / Бурсук В.Н.; заявитель патенто-обладатель Корпорация “САМСУНГ ЭЛЕКТРОНИКС Ко., Лтд.” (KR). – № 2007105236/09; заявл. 13.02.2007; опубл. 20.08.2008.