

УДК 681.785

Й. Й. Білинський, к. т. н., доц.;

О. Г. Тарасюк;

В. Й. Білинський, студ.

## СУБПІКСЕЛНЕ СКАНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОБРАЖЕННЯ НА ОСНОВІ ЗСУВУ ФОТОМАТРИЦІ

*Запропоновано метод визначення максимуму розподілення яскравості світлової плями із субпіксельною точністю на основі зсуву багатоелементного фотоприймального пристрою. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують ефективність методу, а також дана порівняльна характеристика запропонованого та існуючих методів.*

### Вступ

На сьогоднішній день широкого застосування набувають оптико-електронні вимірювачі відстані на основі просторового методу модуляції, так звані триангуляційні сенсори. Вони використовують як лазерний пучок, так і лазерну лінію або набір паралельних ліній для визначення відстані до об'єкта або його геометричних розмірів. Проблема точного вимірювання відстані на основі такого методу часто пов'язана із застосуванням багатоелементних фотоприймальних пристроїв (фотолінійок або фотоматриць) з низькою роздільною здатністю, оскільки використання фотоприймальних пристроїв з високою роздільною здатністю у багатьох випадках є проблематичним у зв'язку з технологічними особливостями (наприклад, для матриць ІК-діапазону) або з їхньою високою вартістю. Тому розробка як алгоритмічних методів, так і схемних рішень для поліпшення якості й підвищення роздільної здатності цифрових зображень, отриманих за допомогою апаратури з низькою роздільною здатністю є актуальною задачею як у теоретичному, так й у прикладному плані.

### Аналіз попередніх досліджень

Забезпечення надроздільної здатності в оптико-електронних вимірювальних системах досягається використанням різних методів і математичних алгоритмів. Позитив від методів, що досягають субпіксельної точності, може розглядатися в двох аспектах: як засіб одержання вищої точності або як засіб одержання такої самої точності за меншу кількість кроків обчислення.

На основі аналізу літературних джерел виявлено такі алгоритми знаходження максимуму розподілення яскравості світлової плями: інтерполяційні методи, метод центра мас, апроксимація Гаусса, параболічна оцінка, дихтометрія, методи золотого перерізу та Фібоначі [1—5].

Наведені вище методи не є оптимальними для проектування оптико-електронних систем з урахуванням мінімальних затрат часу на обчислення та використовують не більше 3...5 ітераційних кроків, але після чого вимагають проведення уточнення результатів обчислення.

### Реалізація та експериментальні дослідження методу зсуву

Похибка дискретизації зображення залежить від кроку дискретизації, статистичних властивостей зображення, а також способу відновлення неперервного зображення. З фізичної точки зору вибір кроку дискретизації безпосередньо пов'язаний з шириною просторового спектра зображення. Реальні сигнали та зображення в результаті відновлення, як правило, не задовольняють вимогам обмеженості спектра й дають лише наближені результати. На рис. 1 показані осцилограми піка світлової плями до та після зсуву в межах одного пікселя, які свідчать про наближений характер відновлення зображення, оскільки вхідні характеристики сигналу були змінені, а координата енергетичного центра яск-

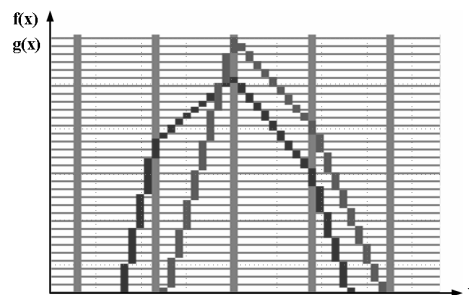


Рис. 1. Осцилограми піка світлової плями до та після субпіксельного зсуву

равості плями залишилась незмінною. У зв'язку з цим для підвищення роздільної здатності необхідно застосовувати прості способи реалізації знаходження геометричних параметрів, які є наближеними для будь-яких характеристик сигналу, але мають роздільну здатність вищу, ніж параметри багатоеlementного пристрою.

В роботі запропоновано визначати максимум яскравості світлової плями або максимум яскравості в поперечному перерізі світлової лінії за допомогою субпіксельного сканування, коли вихідний сигнал формується на основі набору вимірювань, кожний з яких отриманий за допомогою двокоординатного зміщення прийомної фотоматриці з дискретністю меншою лінійних розмірів фотоелемента [2].

Згідно запропонованого методу, зміщення відносно пікселя з максимальною яскравістю  $\delta$  можна обчислити для одновимірному випадку за формулою

$$\delta = \frac{\alpha D}{|\alpha| + |\beta|}. \quad (1)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$  — коефіцієнти субпіксельного зміщення відносно центра пікселя;  $D$  — значення субпіксельного зсуву.

При цьому коефіцієнти субпіксельного зміщення  $\alpha$  та  $\beta$  обчислюються за формулою Гауса (2) або формулою параболічної оцінки (3) [3]

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \frac{\ln(f(x-1)) - \ln(f(x+1))}{\ln(f(x-1)) - 2\ln(f(x)) + \ln(f(x+1))}; \\ \beta = \frac{1}{2} \frac{\ln(g(x-1)) - \ln(g(x+1))}{\ln(g(x-1)) - 2\ln(g(x)) + \ln(g(x+1))}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \frac{f(x-1) - f(x+1)}{f(x+1) - 2f(x) + f(x-1)}; \\ \beta = \frac{1}{2} \frac{g(x-1) - g(x+1)}{g(x+1) - 2g(x) + g(x-1)}. \end{cases} \quad (3)$$

де  $x$  — координата пікселя, що відповідає максимуму яскравості в результаті відгуку системи;  $x-1$ ,  $x+1$  — координати пікселів зліва та справа від пікселя з максимальною яскравістю;  $f(x)$ ,  $g(x)$  — яскравості пікселів до і після зсуву.

Запропонований метод на основі субпіксельного зсуву дозволяє зменшити похибку дискретизації та підвищити точність знаходження реального максимуму яскравості світлової плями за рахунок зменшення впливу неоднорідної чутливості пікселів фотоприймального пристрою.

Метод досліджувався експериментально, засобами напівнатурного моделювання (рис. 2).

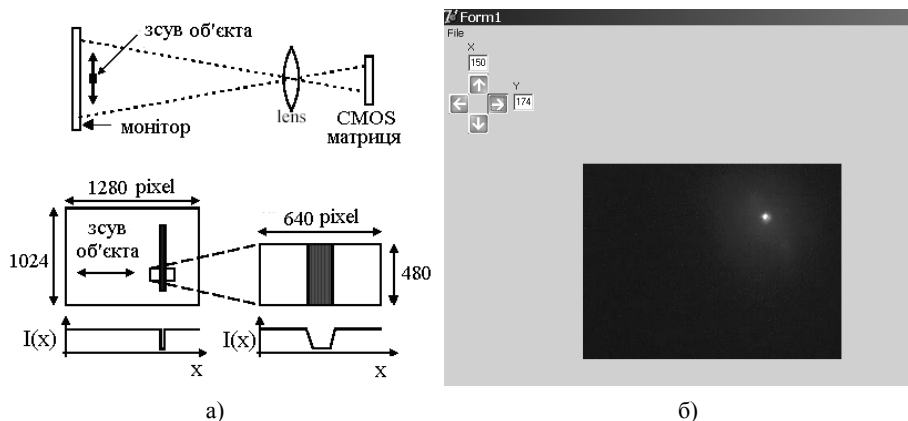


Рис. 2. Експериментальна установка: а) оптична схема; б) досліджувана пляма та інтерфейс програми зсуву

Зображення світлової плями з екрана монітора записувалося на цифрову відеокамеру, після чого виконувався зсув зображення на один піксель монітора. Масив даних вводився в комп'ютер, де формувался профіль лазерної плями або лінії. Відстань між монітором та відеокамерою була відома, що дозволило розрахувати відношення розмірів пікселя монітора та відеокамери й, таким чи-

ном, визначити величину зміщення субпіксельного зсуву  $D$ . У даному випадку мінімальне зміщення зображення на моніторі в один піксель відповідало 0,4 пікселя відеокамери.

В результаті проведеного експерименту отримано значення яскравості пікселів, прилеглих до пікселя з піком світлової плями. Отримані дані дали можливість розрахувати відхилення максимального значення інтенсивності плями від центра пікселів для декількох кроків зсуву запропонованим методом, методом Гаусса та параболічним методом (рис. 3), а також побудувати характеристики залежності номера пікселя відеокамери  $N$  від номера пікселя монітора  $M$  (рис. 4).

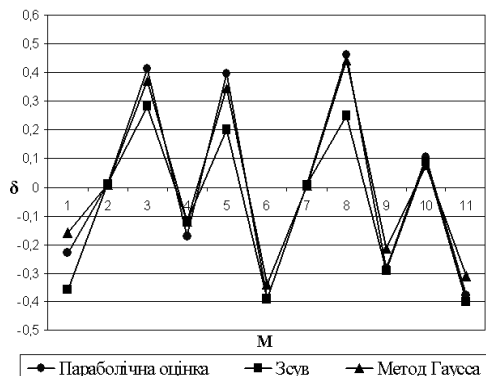


Рис. 3. Відхилення максимуму інтенсивності плями від центра пікселів



Рис. 4. Залежність пікселя відеокамери від пікселя монітора

Отримана характеристика на основі методу зсуву має більш лінійний характер у порівнянні з методом Гаусса, що підтверджує ефективність запропонованого методу.

Експериментальні дослідження дали змогу розрахувати відносну похибку визначення максимального значення інтенсивності світлової плями для методу зсуву, яка становить менше 10 % ширини пікселя.

## Висновки

Запропоновано метод визначення максимуму розподілення яскравості світлової плями на основі використання зсуву багатоелементного фотоприймального пристрою. Розрахунок коефіцієнтів субпіксельного зміщення пропонується розраховувати за допомогою формули Гаусса або параболічної оцінки.

Проведені експериментальні дослідження порівнювалися з найефективнішими методами Гаусса та методом параболічної оцінки.

Визначено відносну похибку методу, яка складає менше 10 % ширини пікселя.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Родинов С. А., Вон Дон Чжу, Ми Сук Чжун. Оптика негомоцентрических световых пучков // Оптический журнал. — 1997. — Т. 64. — № 8. — С. 28—31.
2. Šedivý J., Fischer J. Precision Single-line Dimension Measurement Using CMOS Image Sensor and photometric interpolation // Proceedings of IDAACS'2005. — Sofia: Technical University of Sofia. — 2005. — P. 324—327.
3. Fisher R. B., Naidu D. K. A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection // Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision. — Heidelberg: Springer-Verlag. — 1996. — P. 205—229.
4. Форсайт, Дэвид А, Понс, Жан. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.
5. ГОСТ 24453 — 80. Измерения параметров и характеристик лазерного излучения. — М.: Изд-во стандартов, 1981 — 38 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТГ-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07  
Рекомендована до друку 04.10.07

**Білинський Йосип Йосипович** — доцент, **Тарасюк Олександр Григорович** — аспірант

Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

**Білинський Володимир Йосипович** — студент Інституту магістратури, аспірантури та докторантури

Вінницький національний технічний університет