

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРООБ'ЄКТІВ З СУБПІКСЕЛНОЮ ТОЧНІСТЮ

На сьогодні визначення геометричних параметрів мікрооб'єктів за допомогою методів візуалізації в сучасних вимірювальних технологіях набуває широкого розповсюдження. Основою таких методів є здійснення локалізації країв об'єкта, тобто його оконтурювання. Для виділення чіткого контуру необхідно отримати висококонтрастне зображення, що є неможливим при знаходженні розмірів об'єктів на межі роздільної здатності систем реєстрації, а також мікродеталей та деталей складної форми. При цьому контури, що виділяються, мають такі недоліки, як розриви, відсутність контурних ліній або наявність помилкових, а також неможливість точного визначення крайової точки контуру, при чому контурні лінії є широкими, розмитими й нечіткими, що унеможливає їх розпізнавання.

В роботі запропоновано, для підвищення точності визначення геометричних параметрів мікрооб'єктів складної форми, використати субпіксельний метод визначення координат контурних точок об'єкта з застосуванням щупа для локалізації крайової точки. Знаходження координат краю досліджуваного об'єкта зводиться до знаходження спільної точки зображення краю щупа та межі зображення об'єкта. На рис.1,а представлено залежність номера фотокомірки від інтенсивності.

Оскільки примежові криві є розмитими й протяжними, то в околі крайової точки функцію інтенсивності можна представити прямими лініями (з використанням лінійної інтерполяції), тоді положення точки перетину, визначається за допомогою системи рівнянь з рис. 1,а

$$\begin{cases} \frac{I(m, n + \delta) - I(m, n)}{I(m, n + 1) - I(m, n + \delta)} = \frac{\delta}{d - \delta}; \\ \frac{I(m, n + \delta) - I(m, n)}{I(m, n + 1) - I(m, n + \delta)} = \frac{I'(m, n) - I(m, n)}{I(m, n + 1) - I'(m, n + 1)}, \end{cases} \quad (1)$$

де d – відстань між пікселами; $I(m, n)$, $I'(m, n)$, $I(m, n + 1)$, $I'(m, n + 1)$ – інтенсивності N -го та $N+1$ -го піксела для щупа та досліджуваного об'єкта відповідно; δ – субпіксельне зміщення.

Субпіксельне зміщення координати відносно центра піксела з системи рівнянь 1, визначається як

$$\delta = \frac{I'(m, n) - I(m, n)}{(I(m, n + 1) - I'(m, n + 1)) + (I'(m, n) - I(m, n))} \cdot d \quad (2)$$

Формула 2 справедлива тоді, коли кут нахилу контуру близький до 0° або 90° , але якщо кут довільний субпіксельні зміщення знаходяться за допомогою градієнта зображення.

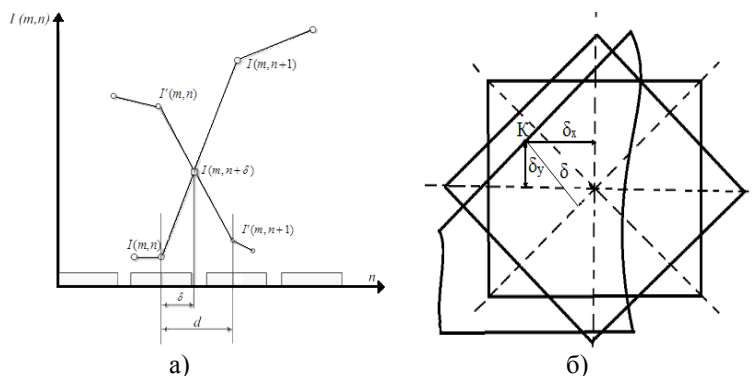


Рис. 1. Знаходження субпіксельних координат межі об'єкта на зображенні з кутом нахилу близьким до 0° або 90° – а; при різних кутах нахилу – б.

Якщо градієнт відмінний від нуля, то для більш точного визначення відстаней між точками контуру знаходяться субпіксельні зміщення δ_n і δ_m відносно центра контурних пікселів (рис. 1,б)

$$\begin{aligned} \delta_m &= 2\delta(1 - \cos\alpha); \\ \delta_n &= \frac{\delta(1 - \cos\alpha)}{\sqrt{2}}, \end{aligned} \quad (3)$$

де δ_n та δ_m – субпіксельні зміщення відносно центра піксела по нахиленим осям.

Узагальнену формулу визначення положення крайової точки з субпіксельною точністю можна записати як:

$$X = (n - 1) \cdot d + \delta$$

Отже, використання запропонованого методу знаходження субпіксельних координат контурних точок

зображення об'єкта для визначення геометричних параметрів мікрооб'єктів дозволяє зменшити похибку до 10% ширини пікселя, а використання щупа – контролювати геометричні параметри з високою точністю.