

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ НА ОСНОВІ ЗНАХОДЖЕННЯ СУБПІКСЕЛЬНИХ КООРДИНАТ КРАЇВ ОБ'ЄКТА НА ЗОБРАЖЕННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано спеціальну операцію, яку можна віднести до логічних = *common point of boundary curves* (спільна точка примежових кривих), яка ґрунтується на використанні спільної координати примежових кривих об'єкта на зображенні, отриманих за допомогою кусково-лінійної інтерполяції, що дає змогу підвищити точність визначити координат контуру з субпіксельною точністю.

Ключові слова: примежова крива, виділення контуру, обробка зображення, спільна точка примежових кривих, кусково-лінійної інтерполяції.

Abstract

A special operation is proposed, which can be attributed to the logical = *common point of boundary curves* (*common point of boundary curves*), which is based on the use of the common coordinate of boundary curves of the object in the image, obtained with the help of piecewise linear interpolation, which makes it possible to increase the accuracy of determining contour coordinates with subpixel accuracy.

Keywords: boundary curve, contour selection, image processing, common point of boundary curves, piecewise linear interpolation.

Вступ

Оптико-електронні засоби (ОЕС) надають унікальну можливість проводити вимірювання геометричних та динамічних параметрів широкого класу об'єктів у реальному часі з високим просторовим розрізненням шляхом аналізу як власного випромінювання, так і того, що пройшло через об'єкт. В таких засобах, як правило, світло електричним перетворювачем є ПЗЗ. Використовуючи залежність сигналу пікселя ПЗЗ матриці від характеру розподілу освітленості за певних умов можна збільшити точність визначення координати межі двох контрастних ділянок зображення. Для того щоб підвищити цю точність, необхідно отримати оптимальну глибину різкого зображуваного простору (ГРЗП) що представляє собою відстань між передньою і задньою межами різкого зображеного, виміряна вздовж оптичної осі, в межах якої об'єкти зйомки на знімку зображуються достатньо різко. Технічне втілення отримання оптимальної глибини різкого зображуваного об'єкта для подальшого визначення його геометричних параметрів залишається на сьогодні достатньо складною задачею.

Метою роботи є підвищення точності визначення координат об'єкта на зображенні

Основна частина

В роботі [1] запропонований метод підвищення точності визначення геометричних параметрів об'єктів з використанням розфокусованих зображень, який базується на визначенні координат контуру об'єкта за допомогою співставлення двох зображень з різним ступенем розмитості.

Розсіювання, які утворюють зображення, залежать від відстані від об'єкта зйомки до площини наведення на різкість. Чим більше діаметр такого розсіювання, тим більше нерізким є зображення об'єкта. Точки предметів, розташованих поза площиною фокусування, можуть зображуватися різко, якщо діаметри відповідних кружків розсіювання не перевищують допустимого кружка розсіювання. Отже на глибину різко зображуваного простору (ГРЗП) впливає, фокусна відстань об'єктива. Таким чином при скануванні об'єкта завжди присутня певна неточність вимірювання під час виділення крайових точок зображення. Ця неточність пов'язана в першу чергу з величиною розсіювання сигналу в оптичній системі, а також з характеристиками ПЗЗ-матриці.

Вважається, що оптико-електронні канали ОЕС, призначені для вимірювання геометричних параметрів об'єктів, мають велику кількість оптичних передатних ланок, тому оптична передавальна функція (ОПФ) оптичного тракту апроксимують, як правило, функцією Гауса. Оскільки у такої ОПФ відсутня фазова складова, тобто дорівнює нулю, то амплітудна складова ОПФ може бути описана такою ж функцією Гауса, що і ОПФ [2].

Оскільки виділення контуру отриманого зображення передбачає визначення крайового пікселя

об'єкта на зображенні то в роботі запропоновано спеціальну операцію, яку можна віднести до логічних = common point of boundary curves (спільна точка примежових кривих). Дану точку примежових кривих отримуємо шляхом використання кусково-лінійної інтерполяції в кожній точці об'єкта двох отриманих зображень з подальшим визначення їх спільної координати, що i є координатою краю об'єкта на зображенні.

Використовуючи даний метод виникла проблема що не дозволяла відомими логічними операціями виділити контур даного об'єкта на зображенні, оскільки точки примежових кривих зображень не співпадають.

Тому була запропонована функція, яка дозволяє знаходити спільні точки примежових кривих двох розфокусованих зображень з субпіксельною точністю з подальшою можливістю візуалізації контуру об'єкта на зображенні.

Функція розподілу інтенсивності в околі крайової точки згідно з моделлю примежової кривої може бути описана виразом [3, 4]:

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < \alpha; \\ \frac{x - \alpha}{\beta - \alpha} & \text{при } \alpha \leq x \leq \beta; \\ 1 & \text{при } x > \beta, \end{cases} \quad (1)$$

де i – координати, що відповідають мінімальній і максимальній інтенсивності примежової кривої.

Модель визначення субпіксельної координати краю на примежовій кривій, яка знаходиться в міжпіксельному просторі в результаті лінеаризації ділянки примежової кривої, наведена на рис 1.

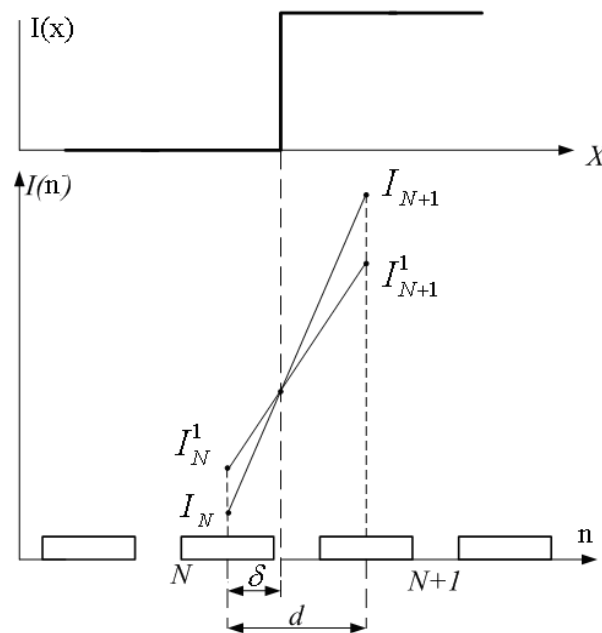


Рис. 1. Визначення субпіксельної координати краю на примежовій кривій

Виконаємо розв'язування даної задачі для одновимірного випадку. В області лінеаризації примежової кривої визначаються два сусідніх піксели, для яких виконується умова $I_N < I_N^1$, $I_{N+1} > I_{N+1}^1$, де I_N , I_{N+1} і I_N^1 , I_{N+1}^1 – інтенсивності N-го та N+1 піксела до та після повторної фільтрації, відповідно.

Зображений фрагмент примежової кривої в області перетину кривих дозволяє створити систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{I - I_N}{I_{N+1} - I} = \frac{\delta}{d - \delta}; \\ \frac{I - I_N^1}{I_{N+1}^1 - I} = \frac{\delta}{d - \delta}, \end{cases} \quad (2)$$

розв'язанням якої є значення субпіксельного зміщення відносно центра пікселя

$$\delta = \frac{(I_N^1 - I_N)}{(I_{N+1} - I_N) - (I_{N+1}^1 - I_N^1)} \quad (3)$$

Координата межі краю примежової кривої з урахуванням номера пікселя визначається як

$$X = nd + \delta \quad (4)$$

де d – відстань між центрами пікселів.

Проведено моделювання такої моделі знаходження крайової точки. При цьому дискретні координати нормованої примежової кривої розраховувалися для відомого ступеня згладжування σ за допомогою (3), програмним шляхом формувалася згортка даної примежової кривої та у результаті отримання згладженої примежової кривої знаходилась їхня спільна точка на підставі формули (4).

На рис. 2 наведена осцилограма отриманих примежових кривих.

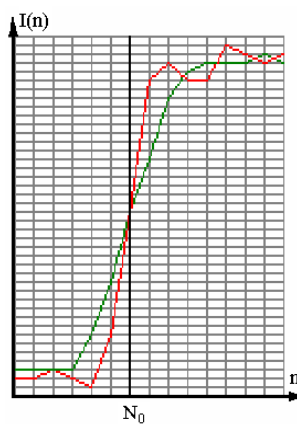


Рис. 2 Осцилограма примежових кривих внаслідок низькочастотної фільтрації

Результати моделювання знаходження крайової точки наведені на рис. 3.

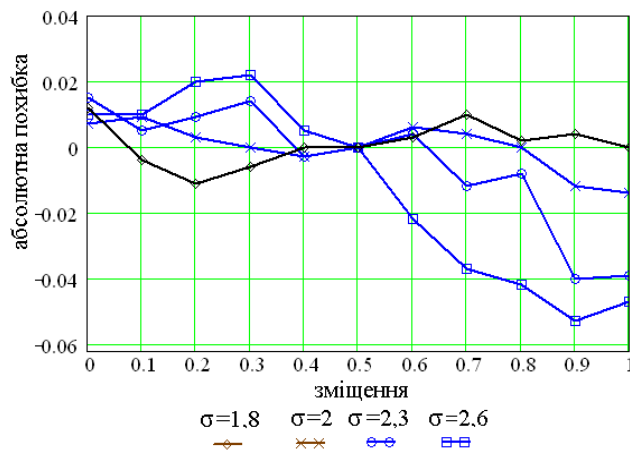


Рис. 3 Результати моделювання знаходження крайової точки

Висновок

Було запропоновано спеціальну операцію, яку можна віднести до логічних = common point of boundary curves (спільна точка примежових кривих), яка ґрунтується на використанні спільної координати примежових кривих об'єкта на зображенні, отриманих за допомогою кусково-лінійної інтерполяції, що дає змогу підвищити точність визначити координат контуру з субпіксельною точністю.

Дослідження показали, що відносна похибка моделі в межах ступеня розмитості $1,8 \leq \sigma \leq 2,6$ не перевищує 10%. Найменше відхилення значення координати крайової точки спостерігається при зміщенні примежової кривої на 0,5 міжпіксельної ширини, що відповідає теоретичним висновкам. При

цьому примежова крива стає асиметричною.

Результати отримані запропонованим методом та методом “перетину нульового рівня” для ступеня розмитості $1,8 \leq \sigma \leq 2,6$ практично збігаються, що дозволяє зробити висновок про можливість застосування його для визначення координат краю об’єкта на зображенні. При цьому перевагою даного методу є простота реалізації, що забезпечує високу швидкодію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Yosyp Bilynsky, Stepan Zhivotivskyi, Alexander Nikolsky, «Optical system for enhancing the precision of geometric parameter estimation for objects utilizing defocused images.» Proc. SPIE 12985, Optical Fibers and Their Applications 2023, 129850B (20 December 2023); doi: 10.1117/12.3023051

[2] Білинський Й. Й. Аналіз сучасних багатоелементних фотоприймальних пристроїв і оптико-електронних методів і засобів на їх основі / Білинський Й. Й. // Вісник Вінницького політехнічного інституту.–2005. – №5(62). – С.9-15.

[3] Contouring of microcapillary images based on sharpening to one pixel of boundary curves

Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104450Y (August 7, 2017); Pavlo M. Ratushny, Serhii V. Yukysh, Alexander S. Barylo, Yedilkhan Amirgaliyev, Andrzej Kotyra, Aron Burlibay, Vitaly Morarenko

[4] Controlling geometric dimensions of small-size complex-shaped objects

Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104450I (August 7, 2017); Iryna Sukhotska, Serhii Yukysh, Maryna Yukysh, Paweł Komada, B. Akhmetov, Kanat Mussubekov

Білинський Йосип Йосипович — доктор технічних наук, професор кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Животівський Степан Михайлович — аспірант кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Bilinsky Joseph J. — PhD in Tech. Scien., Professor of the Department of General Physics, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa.

Zhivotivskyi Stepan M. — postgraduate of the Department of General Physics, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa