

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 681.12

Й. Й. Білинський, д-р. техн. наук, проф.; І. В. Микулка, студ.

МЕТОД ВИДІЛЕННЯ КОНТУРУ НА СЛАБОКОНТРАСНИХ РОЗМИТИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Розроблено метод для виділення контурів об'єктів на слабкоконтрастних розмитих зображеннях та здійснено порівняльний аналіз запропонованого методу із традиційними.

Вступ

Одним із найважливіших завдань цифрової обробки зображення є виділення контурів, оскільки контури — це найінформативніші структурні елементи об'єктів. Однак контури, що виділяються в слабкоконтрастних розмитих зображеннях відомими методами мають такі недоліки, як розриви, відсутність контурних ліній або наявність помилкових, що не відповідають досліджуваному об'єкту, при чому контурні лінії є широкими, розмитими й нечіткими, що унеможлиблює їх розпізнавання.

Більшість медичних зображень, отриманих, наприклад, дистанційним зондуванням, електронною мікроскопією, ультразвуковими приладами та іншими є розмитими і слабкоконтрастними внаслідок неможливого досягнення повної фіксації об'єкта дослідження, мають нерівномірний фон, а також містять різного роду шуми. Тому для оброблення та аналізу такої інформації необхідно забезпечити високу візуальну якість і ефективність попереднього оброблення досліджуваного зображення, яка може бути отримана за допомогою сучасних методів виділення контурів і границь. Це дозволить оцінити діагностичні показники медичних зображень, а саме геометричні.

На сьогодні існує велика кількість методів виділення контурів [1–8]. Ці методи ефективні для оброблення зображень з низьким рівнем шуму. Крім цього, переважна більшість сучасних методів виділення контурів об'єктів залежить від ступеня розмитості зображення. Тобто, чим вищий ступінь розмитості, тим менш ефективним буде результат виділення об'єкта.

Таким чином, на сьогодні залишається актуальною розробка методів виділення об'єктів на слабкоконтрастних розмитих зображеннях.

Метою роботи є розробка методу виділення контурів на слабкоконтрастних розмитих зображеннях.

Основна частина

У геометричній оптиці передбачається, що в однорідному середовищі світлові промені завжди поширюються прямолінійно. З таким припущенням промені, що попадають в площину матричного фотоприймача після проходження через оптичну систему, формують геометричну проекцію. Імпульсний відгук оптичної системи є, як правило, просторово-інваріантним тому залежність «вхід-вихід» виражається інтегралом згортки

$$I_i(x_i, y_j) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(x_i - x_0, y_j - y_0) I_0(x_0, y_0) dx_0 dy_0. \quad (1)$$

де $G(x_i, y_j; x_0, y_0)$ — імпульсна реакція системи, тобто розподілу інтенсивності в площині зображення, що утворює точкове джерело світла.

Вважатимемо, що оптико-електронні канали оптико-електронних систем, призначені для вимірювання геометричних параметрів об'єктів, мають велику кількість оптичних передавальних ланок, тому оптичну передавальну функцію (ОПФ) оптичного тракту будемо апроксимувати з функцією Гауса [9]. Оскільки у такої ОПФ відсутня фазова складова, тобто функція передачі фази (ФПФ) дорівнює нулю, то амплітудна складова ОПФ або функція передачі модуляції (ФПМ), може бути описана такою ж функцією Гауса, що і ОПФ.

Математичний запис нормованої гаусоїди обертання має вигляд

$$G(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

де σ – середньоквадратичний розподіл перепаду інтенсивності відбитого світла на межі (постійна закону Гауса); x, y – координати межі.

Якщо $\sigma > 0$, то різкоконтрастний розподіл інтенсивності $H(x, y)$ перетворюється в розмите зображення. Ступінь розмитості тим більший, чим більша величина σ .

Нехай об'єкт $H(x, y)$ має двовимірний розподіл інтенсивності різкого краю [10]:

$$H(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x < x_0; \\ 1, & \text{якщо } x > x_0; \\ \frac{1}{2}, & \text{якщо } x_0 = 0; \\ \text{для будь-яких } y. \end{cases} \quad (3)$$

Функція розподілу сигналу різкого краю на неперервному фотоприймачі по осі x за рахунок функції $G(x, y)$ однозначно пов'язана з нею і визначається її виглядом, рис. 1.

Враховуючи (2), нормовану межову криву цієї системи, оскільки ОПФ і функція розсіювання лінії (ФРЛ) лінійної оптичної системи пов'язані між собою прямим і зворотним перетворенням Фур'є, запишемо у вигляді функції [11]

$$H^*(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right] dt = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right). \quad (4)$$

Отже, для знаходження крайової точки об'єкта, яка описується примежовою кривою (4), достатньо мати дві примежові криві, які отримані в результаті низькочастотної фільтрації з різним параметром згладжування σ . При цьому спільна точка даних примежових кривих і є крайовою [12].

Тому в роботі, на основі вищесказаного, запропоновано метод виділення контурів об'єктів на слабконтрастних розмитих зображеннях, оснований на попіксельному відніманні двох зображень з різним ступенем розфокусування. Таким чином, для здійснення запропонованого методу необхідно рееструвати декілька зображень з різним ступенем розфокусування.

Отже, метод виділення контурів слабконтрастних розмитих зображень передбачає такі кроки:

1. Реєстрація зображень;
2. Встановлення гистограми для кожного зображення;
3. Знаходження за допомогою гистограмного аналізу найменш та найбільш розмитого зображень;
4. Виконання операції віднімання;

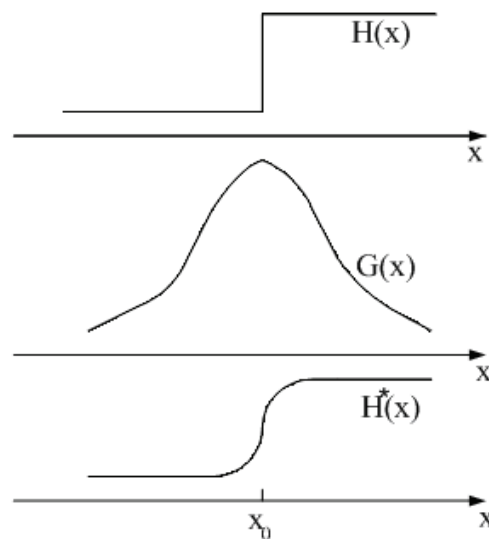


Рис. 1. Вигляд примежової кривої до та після проходження через лінійну оптичну систему з функцією розсіювання $G(x)$

5. Аналіз знаку, який отримано внаслідок віднімання зображень. Його зміна вказує на наявність контуру.

Для використання методу необхідно визначити найменш та найбільш розмиті зображення. Це здійснюється за допомогою використання гістограмного аналізу зображень. Слід зазначити, що гістограмний аналіз виконуються для кожного зображення окремо.

Гістограмний аналіз можна розділити на декілька кроків:

1. Формування розмірності матриці зображення;
2. Порівняння значення інтенсивності та отримання максимального значення — I_{\max} ;
3. Отримання значення ΔI шляхом віднімання від максимального значення інтенсивності (I_{\max}) найближчого до нього значення інтенсивності ($I_{\max-1}$);
4. Знаходження коефіцієнта для визначення різкості зображення

$$k_h = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(I_{\max} - I_{\max-1}) - I_{i,j}}{n}, \text{ якщо } n = m. \quad (5)$$

де I_{\max} — максимальне значення інтенсивності; $I_{i,j}$ — значення інтенсивності в точці (i, j) ; n, m — розмірність матриці зображення; h — кількість порівнюваних зображень;

5. Порівняння отриманих коефіцієнтів усіх зображень та визначення найменш розфокусованого зображення. Зображення, яке має більший коефіцієнт є найменш «розмитим», тобто розфокусованим, а відповідно, зображення, яке має найменший коефіцієнт — найбільш розмитим.

Для підтвердження ефективності запропонованого методу проведено порівняльний аналіз із традиційними методами виділення контурів об'єктів зображення.

У порівняльному аналізі широко використовують оцінку якості зображень. Ця оцінка характеризується низкою метрик, які показують наскільки точно збігається отримане зображення із оригіналом. Найвідомішими із метрик є середньоквадратичне відхилення (MSE) та пікове відношення сигналу до шуму (PSNR).

Середньоквадратичне відхилення (MSE) — це показник розсіювання значень випадкової величини відносно її математичного сподівання.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{m, n} (x_{i,j} - y_{i,j})^2}{mn}. \quad (6)$$

де MSE — середньоквадратичне відхилення; $x_{i,j}$ — елемент вибірки; $y_{i,j}$ — середнє арифметичне вибірки; n, m — об'єм вибірки.

Слід зазначити, що чим менше значення середньоквадратичного відхилення, тим більше отримане зображення збігається із оригінальним.

Пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) — це відношення між максимумом можливого значення сигналу та потужністю шуму, що викривлює значення сигналу. Найпростіше визначити це відношення через середньоквадратичне відхилення.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right), \quad (7)$$

де MAX_I — максимальне значення інтенсивності пікселя по зображенню; MSE — середньоквадратичне відхилення.

Чим більше значення пікового відношення сигналу до шуму тим зображення вважається чіткішим та точнішим.

Для запропонованого методу можна розрахувати коефіцієнт ефективності, який визначається за формулою

$$E = \frac{K_{\max}}{K_{\text{зап}}}, \quad (8)$$

де K_{\max} — це найкраще значення відповідного критерію із відомих методів; $K_{\text{зап}}$ — значення

відповідного критерію для запропонованого методу.

Щоб оцінити якість отриманого зображення з виділеними контурами запропонованим методом та порівняти його вже з існуючими методами виділення контурів використовується синтезоване зображення в програмному пакеті Matlab. Це зображення буде вважатись оригіналом, тобто в нашому випадку це ідеальне зображення. Оскільки досліджується робота детекторів виділення контуру для слабконтрастних зображень то це зображення було розмите та зашумлене за допомогою фільтра Гауса (рис. 2).

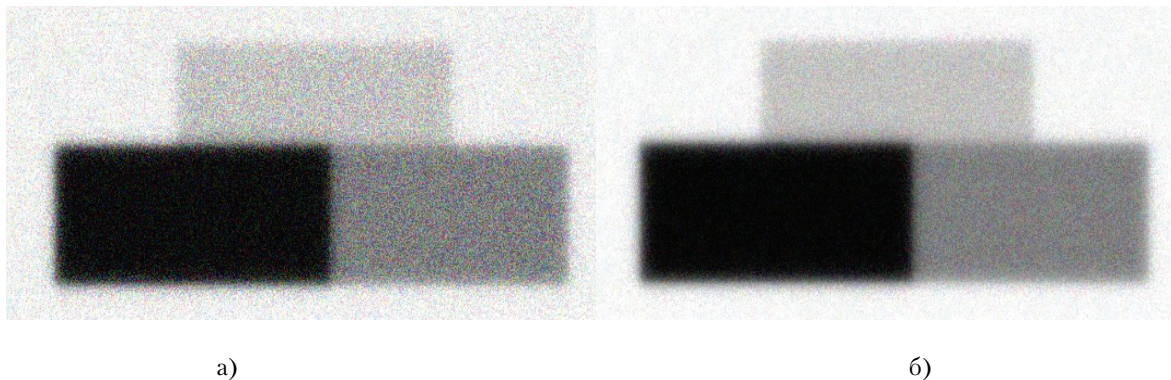


Рис. 2. Розмите та зашумлене синтезоване зображення : а – 25 % Гаусовий шум; б – 50 % Гаусовий шум

Виділення контурів синтезованого зображення (рис. 2а) здійснюється такими методами: Робертса (рис. 3а), Лапласа (рис. 3б), Собела (рис. 3в), Превітта (рис. 3г), Кірша (рис. 3д) та запропонованим методом (рис. 3е).

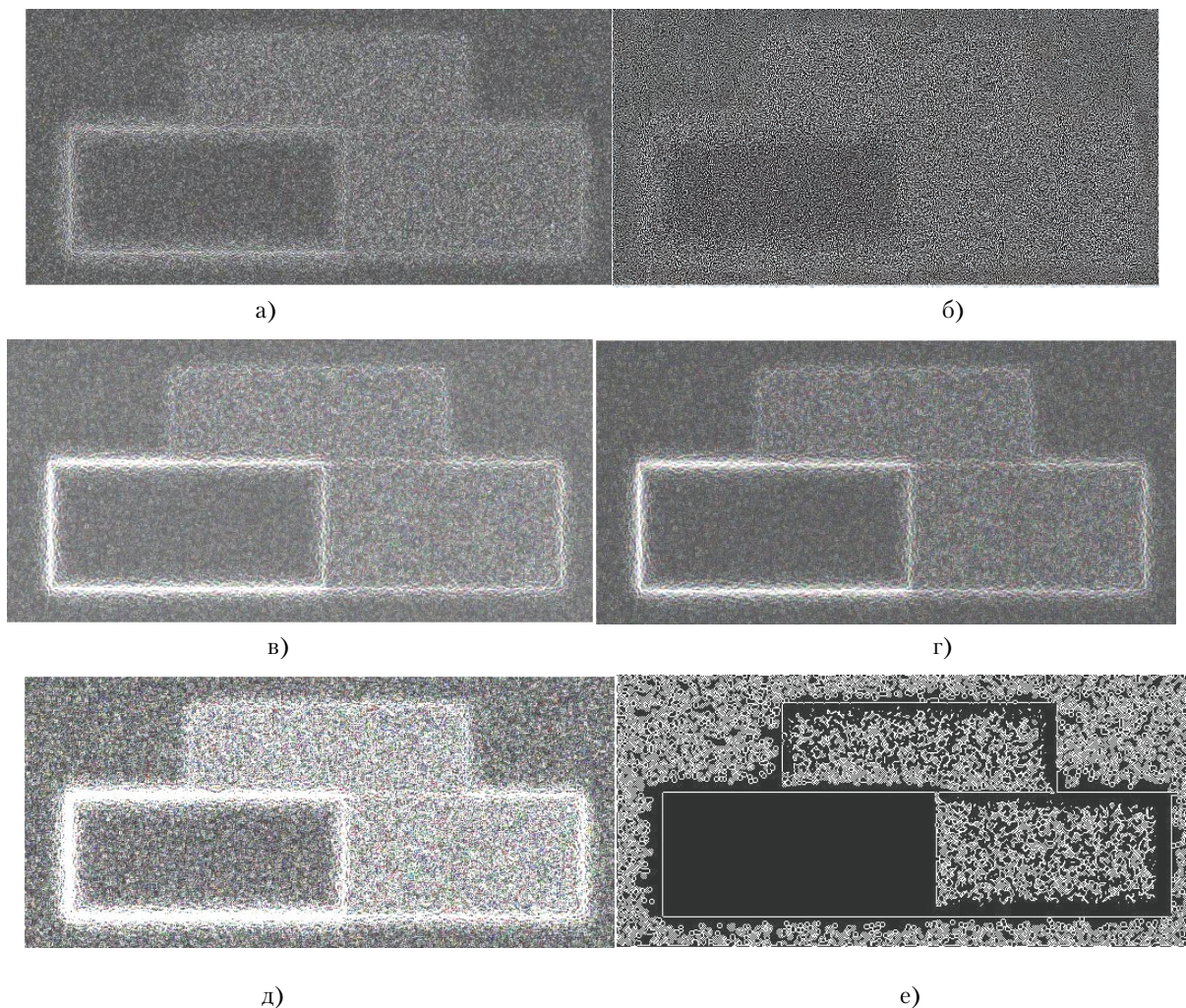


Рис. 3. Зображення з виділеними контурами : а – метод Робертса; б – метод Лапласа; в – метод Собела; г – метод Превітта; д – метод Кірша; е – запропонований метод

Основними недоліками усіх традиційних методів є велике значення ширини контурних ліній. В процесі оконтурювання зображень з низькою контрастністю, інтенсивність виділеної контурної лінії зменшується, що призводить до розривів лінії. В запропонованому методі такі недоліки виключаються.

Виділення контурів синтезованого зображення зашумленого 50 %-м Гаусовим шумом (рис. 2б) здійснюється тими самими методами (рис. 4).

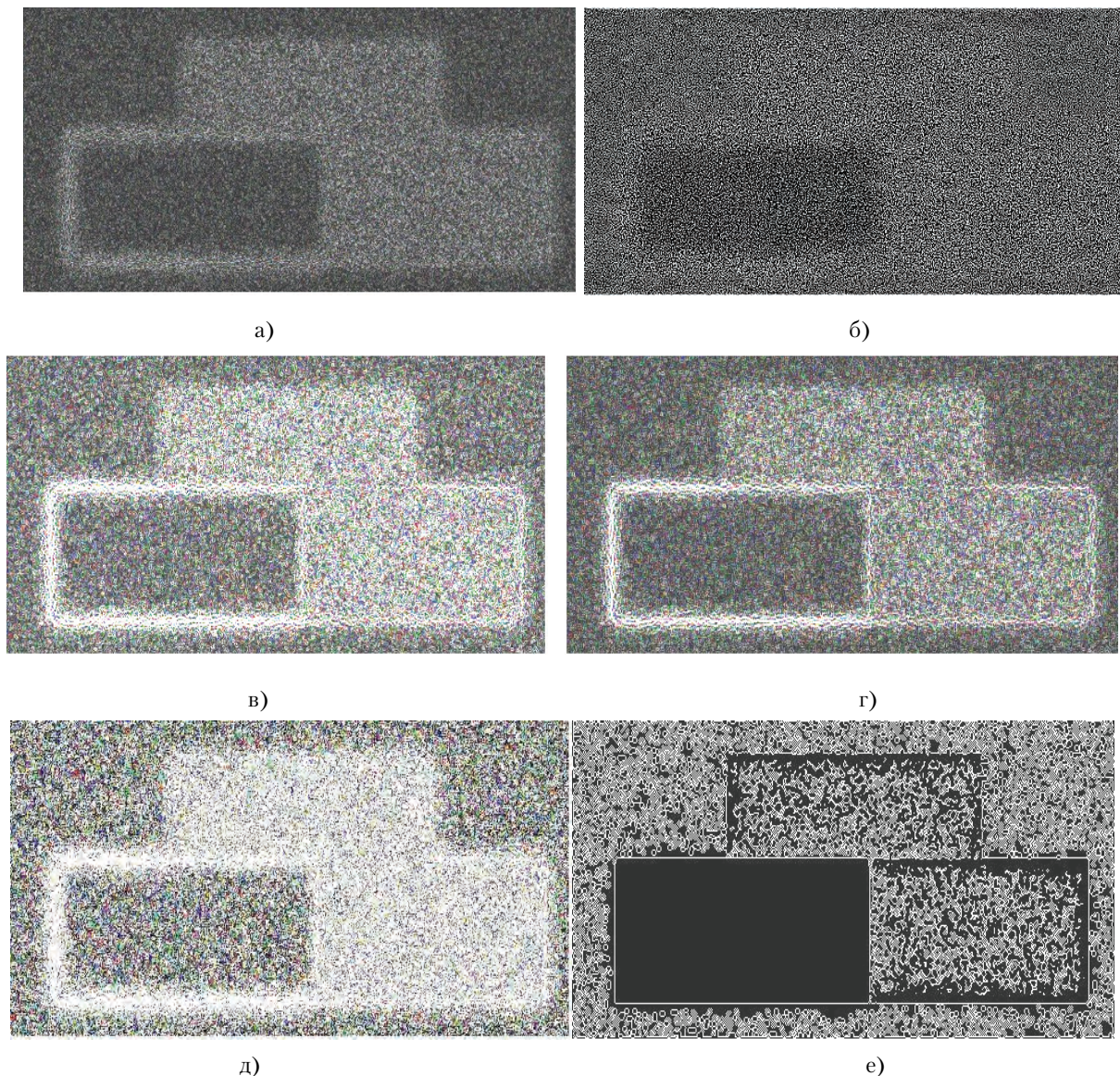


Рис. 4. Зображення з виділеними контурами : а – метод Робертса; б – метод Лапласа; в – метод Собела; г – метод Превітта; д – метод Кірша; е – запропонований метод

Як і в попередньому варіанті основними недоліками усіх традиційних методів є ширина виділених ліній у 3...5 пікселів та висока зашумленість.

Ці недоліки виключені в запропонованому методі, але зі зростанням величини шумів з'являються розриви контурних ліній, що є небажаним явищем.

Результати роботи детекторів виділення контурів з використанням вищенаведених критеріїв (формули (6) та (7)) показані в таблиці. Слід зазначити, що ці критерії стосуються лише контурної лінії зображення. Для оцінки використано зображення контурної лінії розміром (13×97).

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок, що запропонований метод є точнішим, оскільки пікове відношення сигналу до шуму має найбільше значення, що говорить про меншу зашумленість зображення, а значення середньоквадратичного відхилення є меншим, що

свідчить про точність отриманих контурів (показує ступінь розмитості).

Порівняльний аналіз роботи детекторів за оцінкою якості отриманих зображень

| Критерії | Методи | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|----------------|-----------|
| | Робертса | | Лапласа | | Собела | | Превітта | | Кірша | | запропонований | |
| | 25 % | 50 % | 25 % | 50 % | 25 % | 50 % | 25 % | 50 % | 25 % | 50 % | 25 % | 50 % |
| Середньоквадратичне відхилення (MSE) | 3508,1435 | 3954,4385 | 11239,0119 | 16574,2561 | 11159,8192 | 15163,9873 | 7297,5615 | 9265,0515 | 34163,0571 | 37239,9889 | 103,958 | 2237,7256 |
| Пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) | 12,68 | 10,16 | 7,6235 | 5,9365 | 7,6542 | 6,3227 | 9,499 | 8,4207 | 2,7952 | 2,4207 | 42,1561 | 14,6327 |

Висновки

Запропонований метод для виділення контурів об'єктів слабконтрасних розмитих зображень базується на попикселному відніманні та аналізі знака результату віднімання. Аналіз результатів досліджень показав, що запропонований метод дає змогу зменшити ширину контурної лінії і збільшити точність її локалізації. Для порівняння розробленого методу із традиційними використано критерії пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) та середньоквадратичне відхилення (MSE), які підтверджують ефективність методу. Отримані значення критеріїв на порядок вищі ніж у традиційних методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера. — 2005. — 1072 с.
2. Canny J. F. Finding edges and lines in images / J. F. Canny // Master's thesis, MIT — Cambridge, USA. — 1983. — P. 25—29.
3. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно-структурованих зображень / Б. П. Русин. — Л. : Вертикаль. — 1997. — 264 с.
4. Robinson G. S. Edge detection by compass gradient masks / G. S. Robinson // Comput. — Vision Graphics Image Process. — 1977 — № 6 — P. 492—501.
5. Соيفер В. А. Методы компьютерной обработки изображений / В. А. Соيفер. — М. : ФИЗМАТЛИТ. — 2003. — 784 с.
6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера. — 2005. — 1072 с.
7. Ратушний П. М. Детектор крайового детектування на основі низькочастотної фільтрації / Й. Й. Білинський, С. В. Юкиш, П. М. Ратушний // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009 р. — № 1. — С. 230—233.
8. Эль-Хатиб С. А. Сравнительный анализ алгоритмов выделения контуров медицинских изображений / С. А. Эль-Хатиб, Ю. А. Скобцов // Информационные управляющие системы и технологии и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ 2011). — 2011. — С. 52—56.
9. Білинський Й. Й. Субпиксельна оцінка границі дискретних зображень / Й. Й. Білинський, О. С. Городецька, П. М. Ратушний // Вісник Хмельницького національного університету. — 2007. — Т. 2., № 4. — С. 143—146.
10. Билинский И. И. Методика коррекции погрешности светотени на основе многоэлементного фотоприёмного устройства / И. И. Билинский // Наука и предпринимательство : междунар. симпоз., 25—28 февр. 1997 г. : тез. докл. — Винница—Львов. — 1997. — 107 с.
11. Білинський Й. Й. Математична модель локалізації краю зображень об'єкта / Й. Й. Білинський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 3(10). — С. 73—79. — ISSN 1999-9941.
12. Білинський Й. Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах : моног. / Й. Й. Білинський. — Вінниця : ВНТУ. — 2010. — 272 с. — ISBN 978-966-641-366-9.

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 26.01.12
Рекомендована до друку 30.01.12

Білинський Йосип Йосипович — завідувач кафедри електроніки;

Микулка Ірина Володимирівна — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця