

УДК 681.12

**Й. Й. Білинський, д. т. н., проф.; К. В. Огородник, к. т. н., доц.; І. В. Микулка**  
**ДЕТЕКТОР ВИДІЛЕННЯ КОНТУРУ РОЗФОКУСОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

*У статті представлено схемотехнічну реалізацію детектора виділення контуру розфокусованих зображень та здійснено її порівняльний аналіз з відомими.*

**Ключові слова:** контур, детектор, зображення, розфокусування, обробка.

### **Вступ**

Одним із найважливіших завдань цифрового оброблення зображення є виділення контурів, оскільки контури – це найбільш інформативні структурні елементи об'єктів. На сьогодні існує велика кількість методів виділення контурів, які реалізуються, як у програмних середовищах, так і апаратно, проте їхнім головним недоліком є значний час оброблення. Для підвищення швидкодії створено програмні та апаратні засоби, зокрема на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС), які стають останнім часом усе більш розповсюдженою елементною базою в пристроях цифрового оброблення сигналів. Завдяки розвинутій архітектурі, високій тактовій частоті й невисокій ціні, ПЛІС незамінні в макетуванні й дрібносерійному виробництві.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

На сьогодні відомими традиційними засобами виділення контурів об'єктів на зображеннях є детектори Робертса, Лапласа, Собела, Превітта та Кірша [1 – 6].

Детектори Робертса та Собела [1, 3] дуже прості в застосуванні, проте не дають потрібних результатів у випадку роботи з розфокусованими зображеннями. Контурні лінії, отримані таким чином, є широкими, розмитими й нечіткими, що унеможлиблює їхнє розпізнавання автоматизованими системами.

Детектор Лапласа [5] дозволяє отримати ширину лінії в 1 піксел, але його недоліком є великі розміри маски, і як наслідок значний час оброблення, а також висока чутливість до шуму, що ускладнює оброблення зображення.

Детектори Превітта та Кірша [3, 6] характеризуються високим ступенем точності визначення краю і стійкістю до шуму, проте їхніми недоліками є складність обчислень, значний час оброблення зображення та низька ефективність під час роботи із розмитими зображеннями.

При цьому контури, що виділяються в розфокусованих зображеннях відомими засобами, мають, як правило, розриви, відсутність контурних ліній або наявність помилкових, що не відповідають досліджуваному об'єкту, а контурні лінії є широкими, розмитими й нечіткими, що унеможлиблює їхнє розпізнавання. Тому залишається актуальною розробка засобів виділення контурів об'єктів розфокусованих зображень за умови збереження високої швидкодії.

Метою роботи є підвищення ефективності виділення контурів розфокусованих зображень шляхом розробки детектора на ПЛІС.

### **Основна частина**

У роботі запропоновано схемотехнічну реалізацію детектора виділення контуру для розфокусованих зображень на основі знаходження точок перетину двох зображень (найбільш і найменш розфокусованого), які є спільними для приміжових кривих, а отже, є контурами [3].

Оскільки примежові криві є розмитими й протяжними, то в околі крайової точки їх можна отримати на основі використання лінійної інтерполяції. Тоді положення точки перетину визначають за допомогою системи рівнянь [5]:

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

де  $d$  – відстань між центрами пікселів,  $\delta$  – субпіксельне зміщення,  $U(m,n)$ ,  $U'(m,n)$ ,  $U(m+1,n)$ ,  $U'(m+1,n)$  – інтенсивності  $N$ -го та  $N+1$ -го пікселя до та після підвищення різкості відповідно.

Субпіксельне зміщення визначають як [7]:

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

Детектор виділення контуру розфокусованих зображень (рис. 1) складається з таких блоків:

інтерфейси вводу та виводу забезпечують перетворення вхідних даних зображення та вихідного зображення;

блок аналізу гістограми кожного зображення з метою отримання коефіцієнтів, які визначають ступінь розфокусування зображень;

блок порівняння коефіцієнтів;

блок віднімання (цей блок проводить попіксельне віднімання двох зображень: найбільш та найменш розфокусованого);

блок аналіз знака, який отримано внаслідок віднімання зображень, зміна якого вказує на наявність контуру.

Детектор виділення контуру розфокусованих зображень працює таким чином: на інтерфейс введення 1 надходить пакет даних пікселів для обробки визначеної довжини, що складає частину кадру. Дані надходять на відповідні входи блоків аналізу гістограми 21, 22, ..., 2N, на виході яких отримуємо розраховані значення коефіцієнтів, що дозволяють визначити ступінь розфокусування зображень.

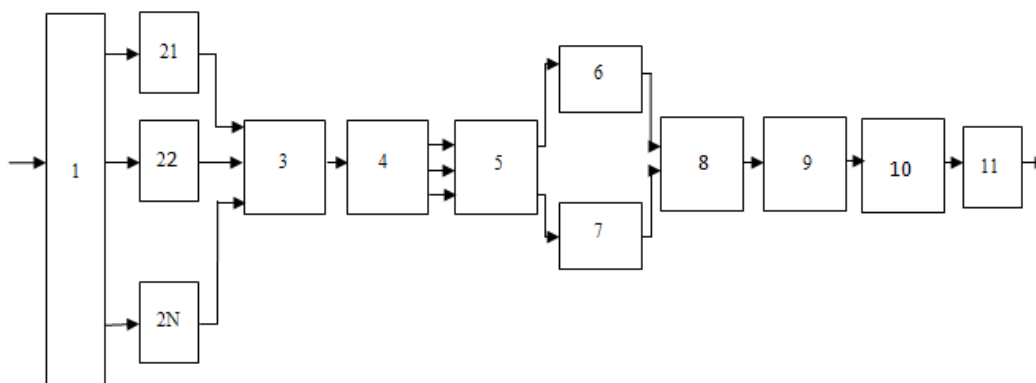


Рис. 1. Структурна схема детектора виділення контуру об'єктів для розфокусованих зображень (1 – інтерфейс введення; 21, 22, ..., 2N – блоки аналізу гістограми; 3 – комутатор; 4 – регістр; 5 – блок порівняння; 6 – регістр для збереження умовно різкого зображення; 7 – регістр для збереження умовно розмитішого зображення; 8 – схеми віднімання; 9 – блок аналізу; 10 – регістр для збереження вихідного зображення; 11 – інтерфейс виводу)

Значення коефіцієнтів через комутатор 3 надходять і зберігаються в регістрі 4. У блоці порівняння 5 виконується порівняння значень коефіцієнтів, що дозволяє виконати вибір найбільш і найменш розфокусованих зображень. Блок віднімання 8 виконує попіксельне віднімання отриманих зображень, які були збережені в регістрах 6 і 7. Обчислені результати

надходять на блок аналізу 9, де відбувається аналіз знаку внаслідок віднімання зображень, зміна якого вказує на наявність контуру. Далі з блоку аналізу 9 дані надходять у регістр 10, де зберігаються, а потім виводяться інтерфейсом виведення 11. Результатом обробки зображення є стоншений виділений контур, що зберігає контури дрібних деталей.

Опишемо детальніше роботу блоку аналізу гістограм з наведеної структурної схеми (рис. 2).

Система отримує зображення у вигляді матриці пікселів з певними значеннями інтенсивності. На інтерфейс вводу подається попіксельно зображення, що зберігається в блоці пам'яті. Із блоку пам'яті значення інтенсивності пікселів подається на компаратори, де визначається максимальне  $I_{max}$  і близьке до максимального  $I_{max-1}$  значення інтенсивності зображення, які надходять у блок віднімання для отримання  $\Delta I$ . Наступним кроком є віднімання від отриманої різниці  $\Delta I$  значення інтенсивності в точці  $(i, j)$  зображення. Потім отримані значення ділять на розмірність матриці зображення та знаходять загальну суму, яка й дорівнює значенню коефіцієнта, що характеризує ступінь розфокусування зображення.

Запропонований блок аналізу гістограм працює за формулою:

$$k_h = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(I_{max} - I_{max-1}) - I_{i,j}}{n} \text{ за умови, що } n = m, \quad (3)$$

де  $I_{max}$  – максимальне значення інтенсивності;  $I_{i,j}$  – значення інтенсивності в точці  $(i,j)$ ;  $n, m$  – розмірність матриці зображення;  $h$  – кількість зображень, що порівнюються.

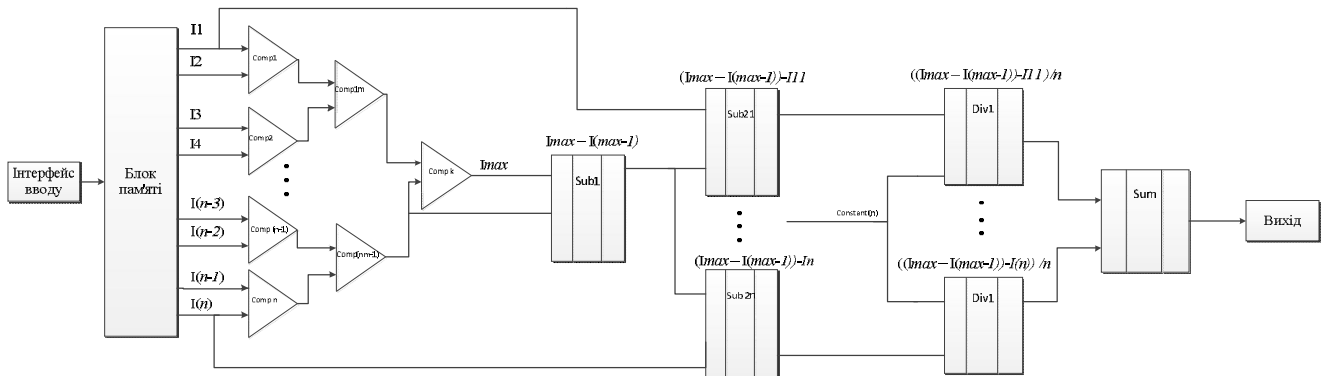


Рис. 2. Структурна схема блоку аналізу гістограми на ПЛІС

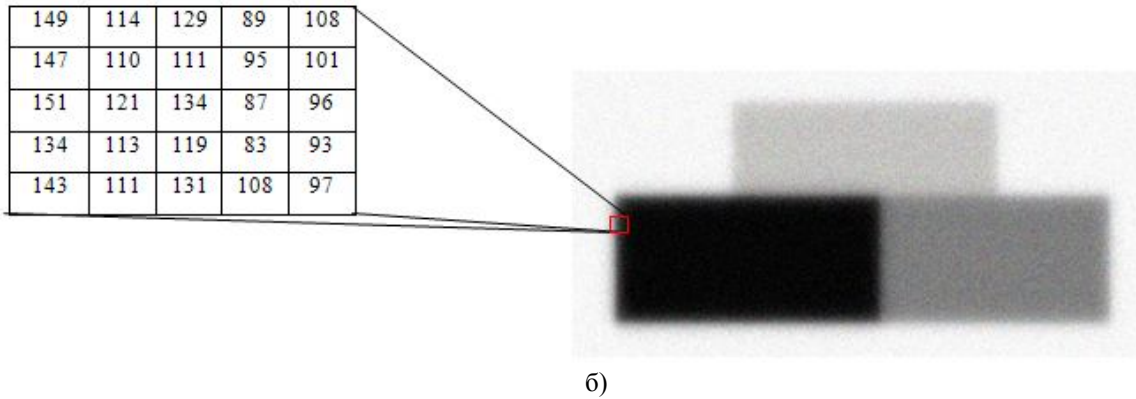
Кількість регістрів, компараторів і блоків арифметичних операцій повинна відповідати розмірності зображення.

Для підтвердження правильності роботи детектора виділення контуру об'єктів для розфокусованих зображень проведено моделювання в САПР Quartus II 9.0. Тестові зображення представляють собою розфокусовані зображення (рис. 3 а та 3 б).

150	116	119	90	110
152	118	110	100	113
161	123	120	96	97
151	121	118	85	96
161	113	120	113	101



а)



б)

Рис. 3. Значення інтенсивностей масиву пікселів розфокусованих зображень (а – найменш розфокусоване зображення, б – найбільш розфокусоване зображення)

У результаті роботи детектора виділення контуру розфокусованих зображень отримано результат, зображений на рис. 4.

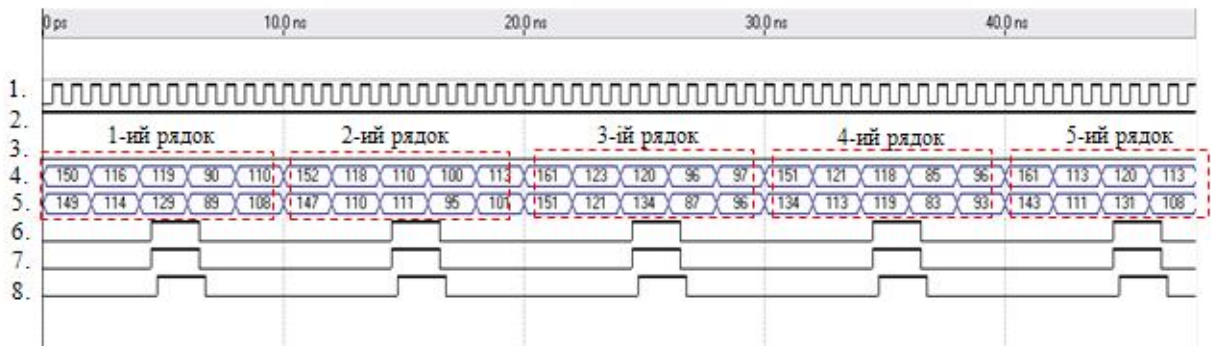


Рис. 4. Результат моделювання у програмі Quartus II 9.0 (1 – тактова частота; 2 – сигнал дозволу; 3 – сигнал скиду; 4 – вивід значень інтенсивності першого зображення; 5 – вивід значень інтенсивності другого зображення; 6 – результат віднімання; 7 – запис результату віднімання в регістр; 8 – зчитування результату віднімання з регістру)

Для перевірки правильності роботи детектора порівняємо отриманий результат моделювання із результатом обробки зображення в Matlab 7 (рис. 5).

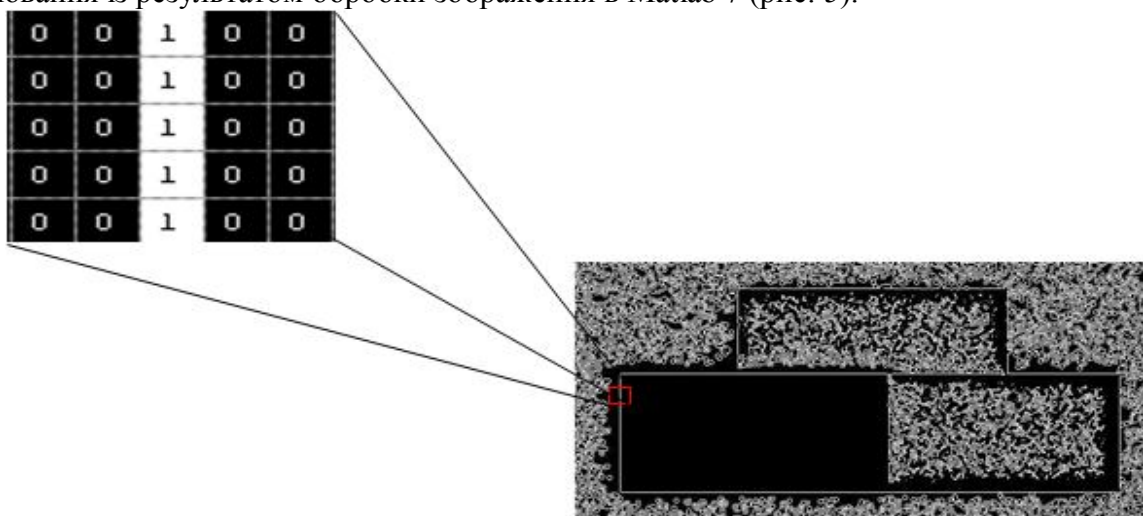


Рис. 5. Значення інтенсивностей масиву пікселів зображення з виділеними контурами

Для підтвердження ефективності роботи детектора виділення контуру розфокусованих зображень проведено порівняльний аналіз із традиційними детекторами виділення контуру зображень.

У порівняльному аналізі широко використовують оцінку якості зображень. Ця оцінка характеризується низкою метрик, які показують, наскільки точно збігається отримане зображення з оригіналом. Найвідомішими з метрик є середньоквадратичне відхилення (MSE) та пікове відношення сигналу до шуму (PSNR). Слід зазначити, чим менше значення середньоквадратичного відхилення, тим більше отримане зображення збігається з оригінальним, і чим більше значення пікового відношення сигналу до шуму, тим зображення вважається більш чіткішим та точнішим.

Порівняльний аналіз роботи детекторів за оцінкою якості отриманих зображень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Порівняльний аналіз

Детектори	Детектор Робертса		Детектор Лапласа		Детектор Собела		Детектор Превігга		Детектор Кірша		Запропонований детектор	
	Критерії	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%
Середньо-квадратичне 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

Згідно з даними таблиці можна зробити висновок, що результати, отримані із запропонованого детектора, є точнішими, оскільки пікове відношення сигналу до шуму має найбільше значення, що свідчить про меншу зашумленість зображення, а значення середньоквадратичного відхилення є меншим, що свідчить про точність отриманих контурів (показує ступінь розмитості).

## Висновки

Запропоновано схемотехнічну реалізацію детектора виділення контуру розфокусованих зображень на основі знаходження точок перетину двох зображень (найбільш і найменш розфокусованого), які є спільними для приміжових кривих, а отже, є контурними. Для порівняння заданого детектора із традиційними було використано такі критерії: пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) і середньоквадратичне відхилення (MSE). У результаті отримано такі значення PSNR=42,1561, а MSE=103,958, що на порядок кращі, ніж у традиційних. У результаті досліджень можна зробити висновок, що детектор дозволяє збільшити точність і зменшити ширину контурної лінії.

Оскільки детектор побудовано на ПЛІС, то відбувається підвищення швидкодії порівняно з роботою в програмному середовищі та з роботою традиційних детекторів.

## СПИСОК 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. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт : Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 784 с.
6. Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений / В. А. Сойфер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
7. Білинський Й. Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія / Й. Й. Білинський. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 272 с.

***Білинський Йосип Йосипович*** – д. т. н., професор, завідувач кафедри електроніки.

***Огородник Костянтин Володимирович*** – к. т. н., доцент, кафедра електроніки.

***Микулка Ірина Володимирівна*** – магістрант інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет.