

УДК 681.12

И. И. Билинский, д. т. н., проф.; К. В. Огородник, к. т. н., доц.; И. В. Микулка
ДЕТЕКТОР ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРА РАСФОКУСИРОВАННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье представлена схемотехническая реализация детектора выделения контура расфокусированных изображений и осуществлён ее сравнительный анализ с существующими.

Ключевые слова: контур, детектор, изображения, расфокусировка, обработка.

Введение

Одной из важнейших задач обработки изображений является выделение контуров, поскольку контуры – это наиболее информативные структурные элементы объектов. На сегодняшний день существует большое количество методов выделения контуров, которые реализуются, как в программных средах, так и аппаратно, но их главным недостатком является значительное время обработки. Для повышения быстродействия созданы программные и аппаратные средства, в частности на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), которые становятся в последнее время все более распространенной элементной базой в устройствах цифровой обработки сигналов. Благодаря развитой архитектуре, высокой тактовой частоте и невысокой цене, ПЛИС незаменимы при макетировании и мелкосерийном производстве.

Анализ последних исследований и публикаций

На сегодняшний день известными традиционными средствами выделения контуров объектов на изображениях являются детекторы Робертса, Лапласа, Собела, Превитта и Кирша [1 – 6].

Детекторы Робертса и Собела [1, 3] очень просты в применении, однако не дают необходимых результатов в случае работы с расфокусированными изображениями. Контурные линии, полученные таким путем, являются широкими, размытыми и нечеткими, что делает невозможным их распознавание автоматизированными системами.

Детектор Лапласа [5] позволяет получить ширину линии в 1 пиксель, но его недостатком являются большие размеры маски, и как следствие значительное время обработки, а также высокая чувствительность к шуму, что затрудняет обработку изображения.

Детекторы Превитта и Кирша [3, 6] характеризуются высокой степенью точности определения границы и устойчивостью к шуму, однако их недостатками являются сложность вычислений, значительное время обработки изображения и низкая эффективность при работе с размытыми изображениями.

При этом контуры, выделяемые в расфокусированных изображениях известными средствами, имеют, как правило, разрывы, отсутствие контурных линий или наличие ложных, не соответствующих изучаемому объекту, а контурные линии являются широкими, размытыми и нечеткими, что делает невозможным их распознавания. Поэтому остается актуальной разработка средств выделения контуров объектов расфокусированных изображений при сохранении высокого быстродействия.

Целью работы является повышение эффективности выделения контуров расфокусированных изображений путем разработки детектора на ПЛИС.

Основная часть

В работе предложена схемотехническая реализация детектора выделения контура для

расфокусированных изображений на основе нахождения точек пересечения двух изображений (наиболее и наименее расфокусированных), которые являются общими для приграничных кривых, а следовательно, являются контурами [3].

Поскольку приграничные кривые являются размытыми и протяженными, то в области краевой точки их можно получить на основе использования линейной интерполяции. Тогда положение точки пересечения определяют с помощью системы уравнений [5]

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

где d – расстояние между центрами пикселей, δ – субпиксельное смещение, $U(m,n)$, $U'(m,n)$, $U(m+1,n)$, $U'(m+1,n)$ – интенсивности N -го и $N+1$ -го пикселя до и после повышения резкости соответственно.

Субпиксельное смещение определяют как [7]:

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

Детектор выделения контура расфокусированных изображений (рис. 1) включает следующие блоки:

интерфейсы ввода и вывода обеспечивают преобразование входных данных изображения и исходного изображения;

блок анализа гистограммы каждого изображения с целью получения коэффициентов, определяющих степень расфокусировки изображения;

блок сравнения коэффициентов;

блок вычитания (данный блок проводит попиксельно вычитания двух изображений наиболее и наименее расфокусированных);

блок анализ знака, полученного вследствие вычитания изображений, изменение которого указывает на наличие контура.

Детектор выделения контура расфокусированных изображений работает следующим образом: на интерфейс ввода 1 поступает пакет данных точек для обработки определенной длины, что составляет часть кадра. Данные поступают на соответствующие входы блоков анализа гистограммы 21, 22, ..., 2N, на выходе которых получаем рассчитанные значения коэффициентов, позволяющих определить степень расфокусировки изображения.

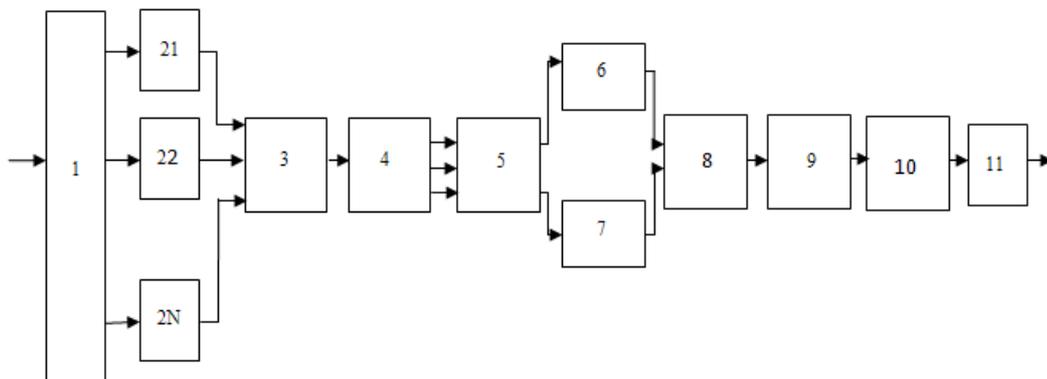


Рис. 1. Структурная схема детектора выделения контура объектов для расфокусированных изображений (1 – интерфейс ввода; 21, 22, ..., 2N – блоки анализа гистограммы; 3 – коммутатор; 4 – регистр; 5 – блок сравнения; 6 – регистр для хранения условно резкого изображения; 7 – регистр для хранения условно размытого изображения; 8 – схемы вычитания; 9 – блок анализа; 10 – регистр для сохранения исходного изображения; 11 – интерфейс вывода)

Значения коэффициентов через коммутатор 3 поступают и хранятся в регистре 4. В блоке сравнения 5 выполняется сравнение значений коэффициентов, что позволяет выполнить выбор наиболее и наименее расфокусированного изображений. Блок вычитания 8 выполняет попиксельно вычитания полученных изображений, сохраненных в регистрах 6 и 7. Вычисленные результаты поступают на блок анализа 9, где происходит анализ знака в результате вычитания изображений, изменение которого указывает на наличие контура. Далее из блока анализа 9 данные поступают в регистр 10, где хранятся, а затем выводятся интерфейсом вывода 11. Результатом обработки изображения является истончённый выделенный контур, сохраняющий очертания мелких деталей.

Опишем подробнее работу блока анализа гистограмм с приведенной структурной схемы (рис. 2).

Система получает изображение в виде матрицы точек с определенными значениями интенсивности. На интерфейс ввода подается попиксельно изображение, хранящееся в блоке памяти. С блока памяти значение интенсивности пикселей подается на компараторы, где определяется максимальное I_{\max} и близкое к максимальному $I_{\max-1}$ значения интенсивности изображения, которые поступают в блок вычитания для получения ΔI . Следующим шагом является вычитание полученной разницы ΔI значения интенсивности в точке (i, j) изображения. Затем полученные значения делят на размерность матрицы изображения и находят общую сумму, равную значению коэффициента, характеризующего степень расфокусирования изображения.

Предложенный блок анализа гистограмм работает по формуле:

$$k_h = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(I_{\max} - I_{\max-1}) - I_{i,j}}{n} \text{ при условии, что } n = m, \quad (3)$$

где I_{\max} – максимальное значение интенсивности; $I_{i,j}$ – значение интенсивности в точке (i, j) ; n, m – размерность матрицы изображения; h – количество изображений, которые сравнивают.

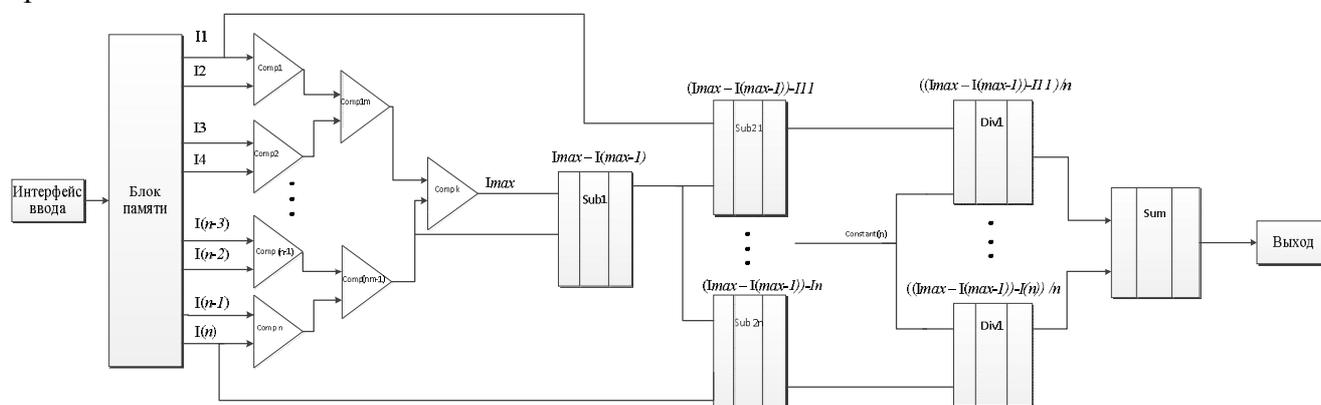


Рис. 2. Структурная схема блока анализа гистограммы на ПЛИС

Количество регистров, компараторов и блоков арифметических операций должно соответствовать размерности изображения.

Для подтверждения правильности работы детектора выделения контура объектов для расфокусированных изображений проведено моделирование в САПР Quartus II 9.0. Тестовые изображения представляют собой расфокусированные изображения (рис. 3 а и 3 б).

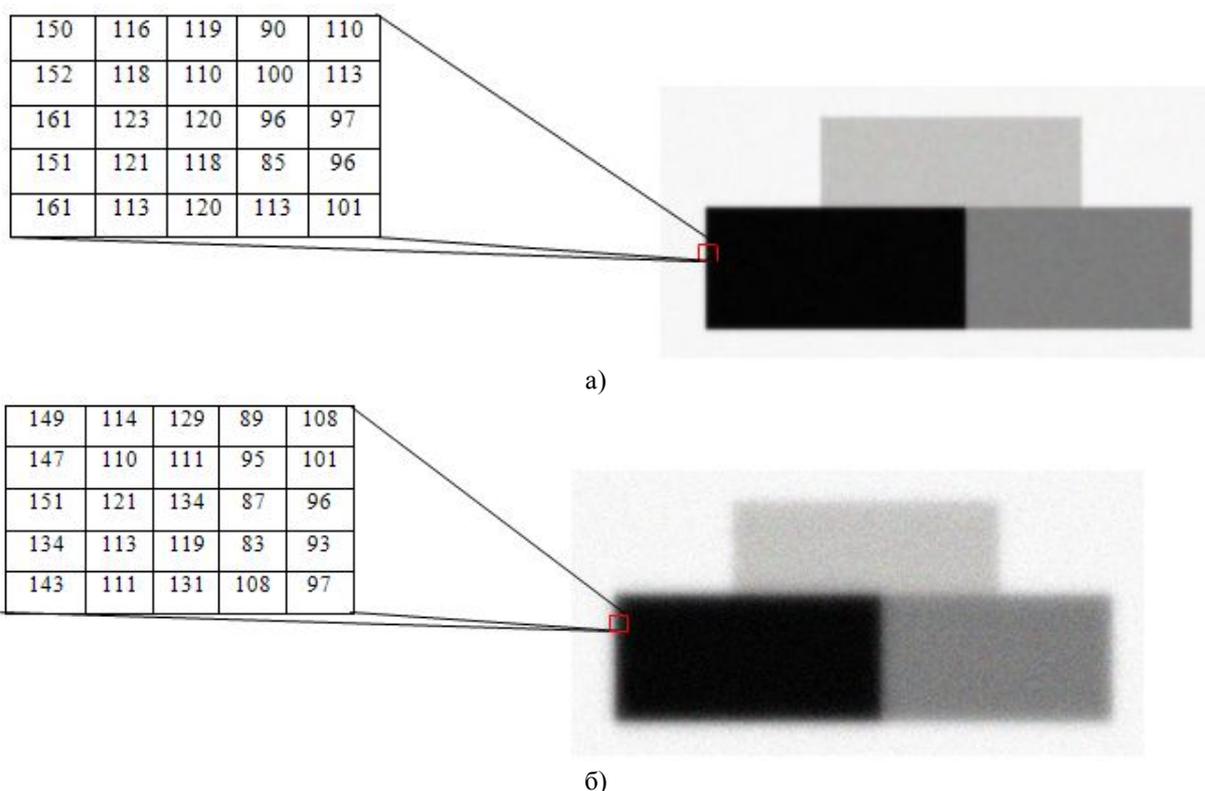


Рис. 3. Значения интенсивностей массива точек расфокусированных изображений (а – наименее расфокусированное изображение, б – наиболее расфокусированное изображение)

В результате работы детектора выделения контура расфокусированных изображений получен результат, изображенный на рис. 4.

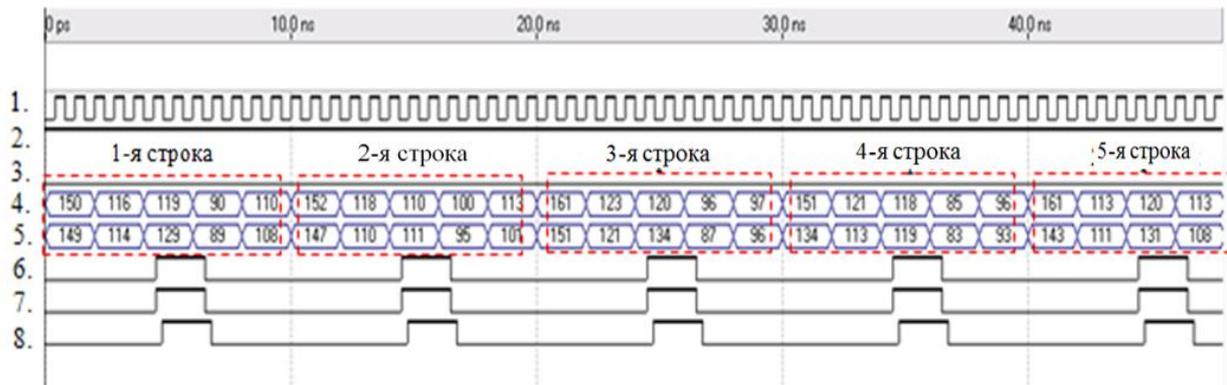


Рис. 4. Результат моделирования в программе Quartus II 9.0 (1 – тактовая частота, 2 – сигнал разрешения, 3 – сигнал сброса, 4 – вывод значений интенсивности первого изображения, 5 – вывод значений интенсивности второго изображения, 6 – результат вычитания, 7 – запись результата вычитания в регистр, 8 – считывание результата вычитания из регистра)

Для проверки правильности работы детектора сравним полученный результат моделирования с результатом обработки изображения в Matlab 7 (рис. 5).

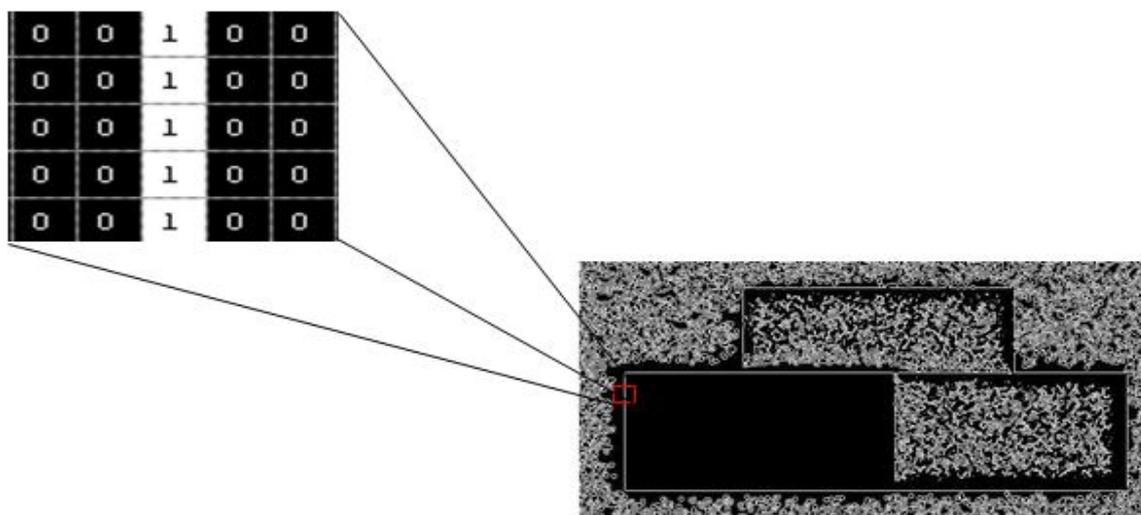


Рис. 5. Значения интенсивностей массива пикселей изображения с выделенными контурами

Для подтверждения эффективности работы детектора выделения контура расфокусированных изображений проведен сравнительный анализ с традиционными детекторами выделения контура изображения.

В сравнительном анализе широко используют оценку качества изображений. Данная оценка характеризуется рядом метрик, которые показывают, насколько точно совпадает полученное изображение с оригиналом. Наиболее известными из метрик являются среднеквадратическое отклонение (MSE) и пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR). Следует отметить, чем меньше значение среднеквадратического отклонения, тем больше полученное изображение совпадает с оригинальным, и чем больше значение пикового отношения сигнала к шуму, тем изображение считается более четким и точным.

Сравнительный анализ работы детекторов по оценке качества полученных изображений приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ

Детекторы	Детектор Робертса		Детектор Лапласа		Детектор Собела		Детектор Превитта		Детектор Кирша		Предложенный детектор	
	Критерии	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%	50%	25%
Средне-квадратическое отклонение (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
Пиковое отношение сигнала к 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

Согласно данным таблицы можно сделать вывод, что результаты, полученные из предложенного детектора, являются более точными, поскольку пиковое отношение сигнала

к шуму имеет наибольшее значение, что свидетельствует о меньшей зашумленности изображения, а значение среднеквадратического отклонения меньше, что свидетельствует о точности полученных контуров (показывает степень размытости).

Выводы

Предложена схемотехническая реализация детектора выделения контура расфокусированных изображений на основе нахождения точек пересечения двух изображений (наиболее и наименее расфокусированных), которые являются общими для приграничных кривых, а следовательно, являются контурными. Для сравнения заданного детектора с традиционными были использованы следующие критерии: пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR) и среднеквадратическое отклонение (MSE). В результате получены следующие значения $PSNR = 42,1561$, а $MSE = 103,958$, что на порядок лучше, чем в традиционных. В результате исследований можно сделать вывод, что детектор позволяет увеличить точность и уменьшить ширину контурной линии.

Поскольку детектор построен на ПЛИС, то осуществляется повышение быстродействия по сравнению с работой в среде и с работой традиционных детекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Білінський Й. Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія / Й. Й. Білінський. – Вінниця : ВНТУ. – 2010. – 272 с.

Білінський Іосиф Іосифович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електроніки.

Огородник Константин Владимирович – к. т. н., доцент, кафедра електроніки.

Микулка Ирина Владимировна – магістрант інститута магістратури, аспірантури і докторантури.

Вінницький національний технічний університет.