

УДК 681.12

**И. И. Билинский, д. т. н., проф.; Б. П. Кныш, к. т. н.; Я. А. Кулик, к. т. н.****МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ДЕТЕКТОРОВ  
ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ В ПАКЕТЕ MATHCAD**

*Разработана методика оценки качества работы детекторов выделения контура в пакете Mathcad, позволяющая определять эффективность детекторов в работе с различными видами изображения и использовать полученные результаты исследования при разработке различных научно-методических работ для дисциплин, связанных с обработкой изображений.*

**Ключевые слова:** качество, детектор, контур, критерий, изображение.

**Введение**

Одной из важнейших задач цифровой обработки изображений является выделение контуров объектов изображения, поскольку контуры – это наиболее информативные структурные элементы объектов. Поэтому наличие этой тематики в учебном процессе при изучении различных дисциплин, связанных с обработкой изображений, в частности «Электронные системы», «Компьютерная графика» для студентов отраслей знаний 15 – «Автоматизация и приборостроение» и 17 – «Электроника и телекоммуникации», является актуальным.

Обработка изображений осуществляют с помощью различных пакетов, широко используемых в учебном процессе, а именно Matlab и Mathcad.

На сегодняшний день Matlab, а именно пакет Image Processing Toolbox, является наиболее мощным инструментом для моделирования и исследования методов обработки изображений. Но эти методы в учебном процессе обычно рассматривают поверхностно или только с целью ознакомления. Более сложные задачи по обработке изображений решают при выполнении квалификационных работ. Кроме того, цена базовой коммерческой версии Matlab без инструментов составляет около 2000 долл. США и 100 долл. США для учебных заведений с минимальным набором инструментов. Это все в целом усложняет широкое использование Matlab в учебном процессе.

В то же время Mathcad, а именно пакет Image Processing Extension Pack, включает большое количество встроенных функций, которые реализуют наиболее распространенные методы обработки изображений. Кроме того, версия Portable является бесплатной. Таким образом, достаточный уровень функциональных возможностей и доступность позволяет Mathcad широко использовать в учебном процессе.

На сегодняшний день существует большое количество методов выделения контуров, реализуемых как в программных средах, так и аппаратно [1].

Одним из видов реализации методов выделения контуров являются соответствующие им детекторы. Контуры, выделяемые в расфокусированных изображениях известными детекторами, 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 распознавание [1]. В зависимости от детектора все эти недостатки проявляются в большей или меньшей степени, что приводит к разным уровням качества выделения контуров объектов изображения. Оценка этого параметра требует разработки специальной методики.

Таким образом, целью работы является разработка методики оценки качества работы детекторов выделения контура с помощью пакета Mathcad, которую в дальнейшем можно использовать при разработке лабораторных и практических заданий для дисциплин, связанных с обработкой изображений.

### Основная часть

Для оценки качества детекторов выделения контура проведен ряд исследований с использованием синтезированных изображений объектов. При этом выделенные контуры сравнивали двумя способами:

- субъективным (с помощью визуального качества полученного контура объекта);
- количественным (с помощью известных критериев [2 – 6]).

С этой целью в Mathcad были синтезировано и использованы специальные изображения с различной степенью размытости и уровнем зашумленности.

Одним из самых распространенных видов шумов, используемых в учебном процессе, является гауссовский шум. Пакет Mathcad позволяет работать с ним.

Гауссовский шум характеризуется добавлением к каждому пикселю изображения значений из соответствующего нормального распределения с нулевым средним значением. Такой шум появляется в устройствах формирования цифровых изображений [7].

Наиболее распространенными детекторами выделения контура объектов изображения, используемых в учебном процессе, являются детекторы Кенни, Робертса, Собела, Превитта. Пакет Mathcad позволяет работать с ними.

Детектор Кенни характеризуется высокой точностью выявления контуров объектов изображения, в частности их положения [8].

Детекторы Робертса и Собела [9, 10] очень просты в применении, однако не дают нужных результатов в случае работы с расфокусированными изображениями. Контурные линии, полученные таким образом, являются широкими, размытыми и нечеткими, что делает невозможным их распознавание автоматизированными системами.

Детектор Превитта [11] характеризуются высокой степенью точности определения края и устойчивостью к шуму, однако его недостатками являются сложность вычислений, значительное время обработки изображения и низкая эффективность при работе с размытыми изображениями.

Для количественной оценки работы детекторов используют различные критерии. В учебном процессе это, как правило, *PSNR*- и *RMSE*-критерии.

*PSNR* – это критерий пикового соотношения сигнал/шум (peak signal-to-noise ratio), который определяют по формуле

$$PSNR(n, m) = 20Lg \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(n_i, m_i)^2}}, \quad (1)$$

где  $N$  – общее число пикселей на каждом изображении;  $n_i, m_i$  – пиксели двух изображений которые сравнивают;  $d(n_i, m_i)$  – разница между цветами соответствующих пикселей.

Для этого использовали изображение контура, полученного из незашумленного, которое определяли как идеальное, и изображения контуров, полученных вышеприведенными детекторами с зашумленных. В соответствии с критерием, чем большее значение *PSNR* таких контурных изображений, тем выше считается качество работы детектора [12].

Кроме этого, результат выделения контура оценивали с помощью критерия погрешности фильтрации *RMSE*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (n(i, j) - m(i, j))^2}{N}}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество обрабатываемых пикселей;  $m(i, j)$  – фильтрованное изображение;  $n(i, j)$  – исходное изображение.

Для *RMSE* чем ниже значение погрешности фильтрации, тем выше качество работы

фильтра [13, 14].

Таким образом, используя возможности Mathcad, можно предложить методику оценки качества работы детекторов выделения контура, которая предусматривает:

1. Введение и отображение эталонного изображения в Mathcad.
2. Вывод таблицы интенсивностей пикселей эталонного изображения.
3. Зашумление эталонного изображения гауссовым шумом.
4. Размытие эталонного изображения.
5. Зашумление размытого изображения гауссовым шумом.
6. Выделение контуров объектов эталонного, зашумленного и размытого зашумленного изображений с помощью детекторов Кенни, Робертса, Собела и Превитта.
7. Подсчет *PSNR*- и *RMSE*-критериев.
8. Внесение полученных значений критериев в таблицу.
9. Анализ полученных результатов и оценки качества работы детекторов выделения контура.

Реализацию методики иллюстрируют нижеследующим примером.

Вводят эталонное изображение, то есть изображение с известными параметрами, в Mathcad с помощью операции *Image := "Image.bmp"*. Таблицу интенсивностей пикселей этого изображения получают путем выполнения операции *M = READBMP (Image)*.

Размытие и зашумление изображения в Mathcad происходит согласно известным операциям и функциям, которые приведены в справке к пакету Image Processing Extension Pack, а именно в разделах Gaussian Kernel Filtering и Addition and Measurement of Noise соответственно.

Синтезированное изображение объекта, состоящее из нескольких участков различной интенсивности и содержащее края разного контраста, приведен на рис. 1.

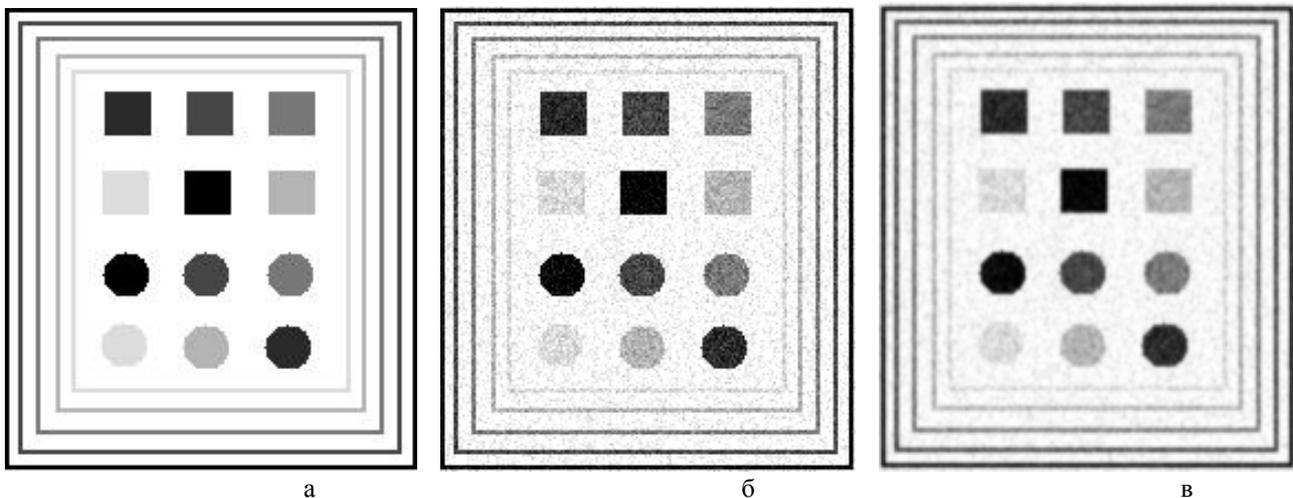


Рис. 1. Синтезированное изображение: а – эталонное; б – со 100%-ым гауссовым шумом; в – размытое, с наложенным 100%-ым гауссовым шумом

На эталонное изображение (рис. 1, а) накладывался 100%-ый гауссовый шум (рис. 1, б). Кроме этого, изображение подвергалось 75%-ому гауссовому размытию с последующим 100%-ым наложением гауссового шума (рис. 1, в).

Выделение контуров объектов изображения в Mathcad происходит согласно известным операциям и функциям, приведенным в справке к пакету Image Processing Extension Pack, а именно в разделе Edge Finders.

На рис. 2 приведено выделение контуров объектов изображения с помощью детектора Кенни.

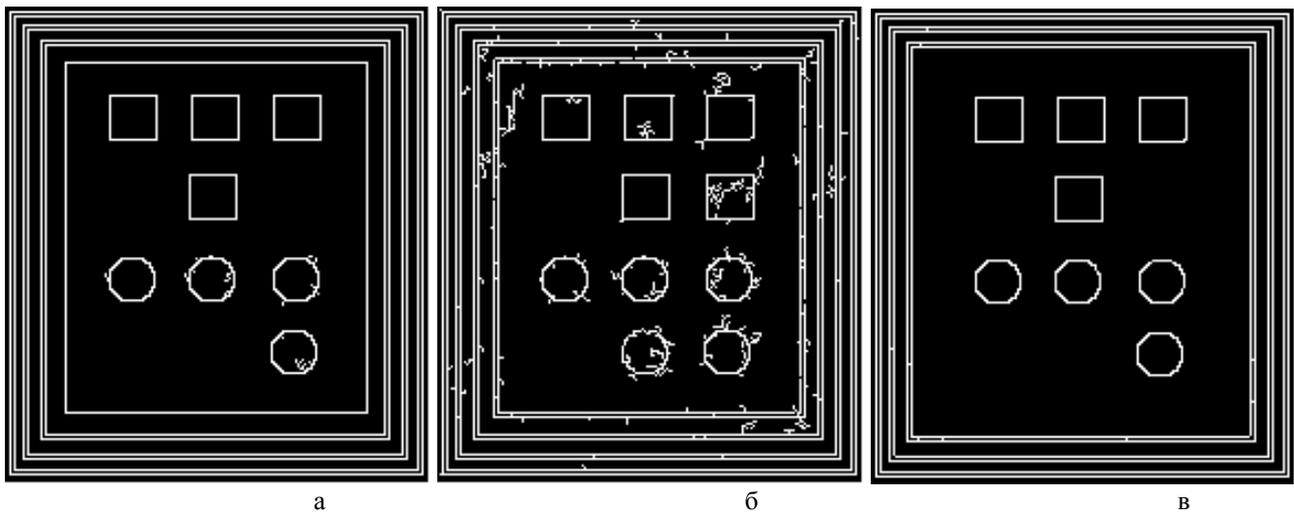


Рис. 2. Выделение контуров объектов с помощью детектора Кенни: а – эталонного изображения; б – изображения со 100%-ым гауссовым шумом; в – размытого изображения с наложенным 100%-ым гауссовым шумом

Как видно из рис. 2, детектор Кенни выделяет четкие контуры объектов изображения, что бесспорно является его преимуществом. Он чувствителен к шумам, образующим ложные контуры. Также объекты низкой интенсивности тоже могут оказаться для данного детектора незаметными.

Кроме этого, выделение контуров объектов изображения с помощью детектора Кенни характеризуется такими параметрами, как верхний и нижний пороги. На рис. 3 приведены выделения контуров объектов изображения с помощью детектора Кенни при различных значениях верхнего и нижнего порогов.

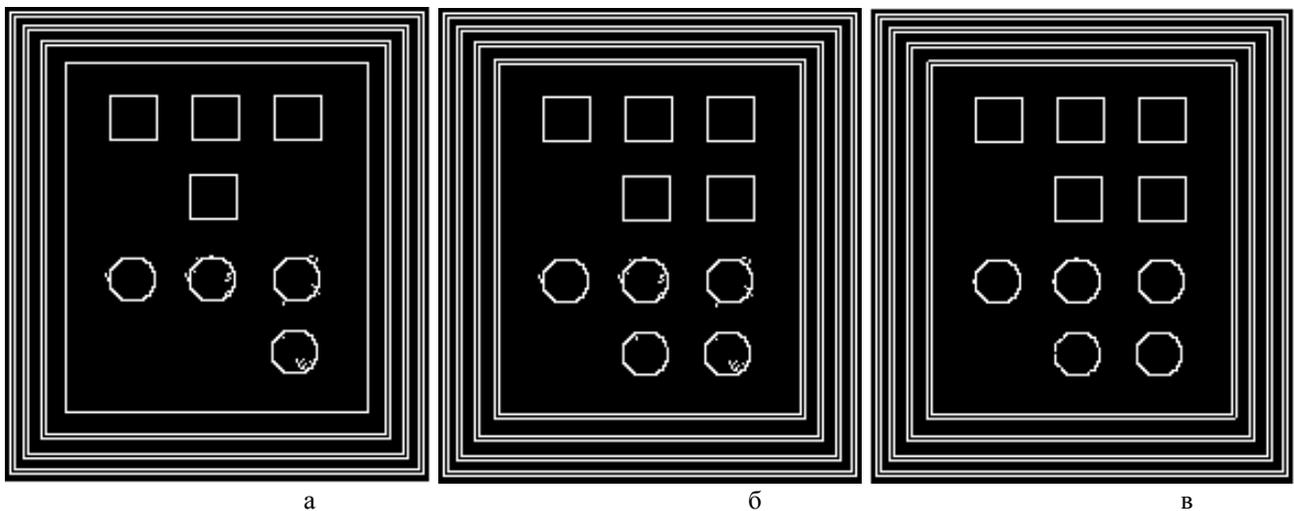


Рис. 3. Выделение контуров объектов с помощью детектора Кенни: а – верхний порог – 80, нижний – 10; б – верхний порог – 45, нижний – 10; в – верхний порог – 45, нижний – 45

Как видно из рис. 3, изменение значений верхнего и нижнего порогов детектора Кенни позволяет выявить объекты на изображении с низкой интенсивностью и устранить ложные контуры.

На рис. 4 приведено выделение контуров объектов изображения с помощью детектора Робертса.

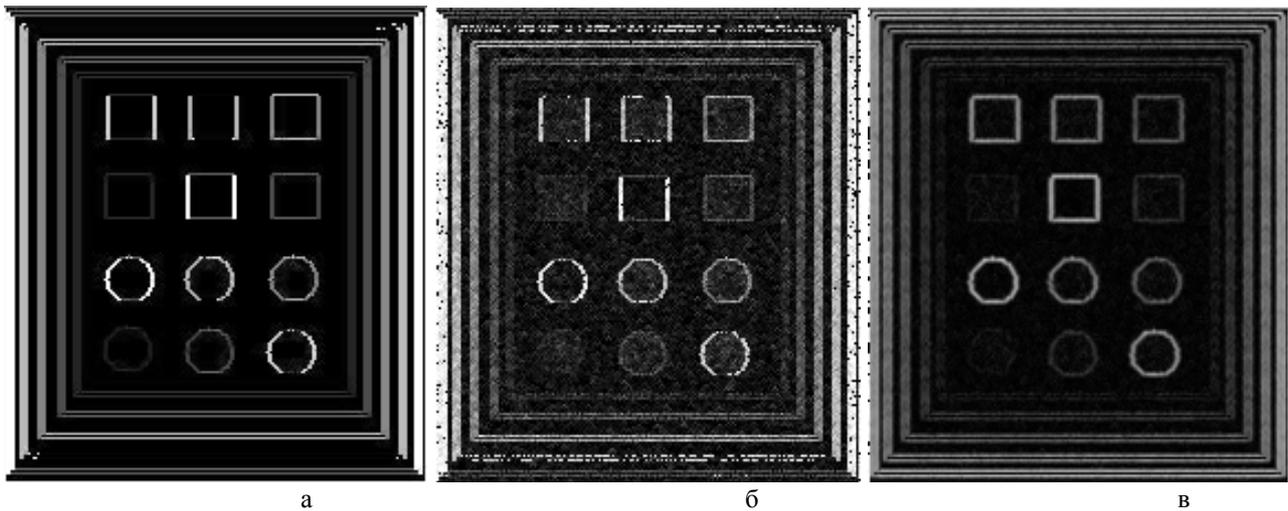


Рис. 4. Выделение контуров объектов с помощью детектора Робертса: а – эталонного изображения; б – изображения со 100%-ым гауссовым шумом; в – размытого изображения с наложенным 100%-ым гауссовым шумом

Как видно из рис. 4, контурные линии являются широкими, размытыми и нечеткими, что усложняет их распознавание автоматизированными системами. Но в случае выделения контуров объектов размытого изображения с наложенным 100%-ым гауссовым шумом можно получить контурные линии без прерываний.

На рис. 5 приведено выделение контуров объектов изображения с помощью детектора Собела.

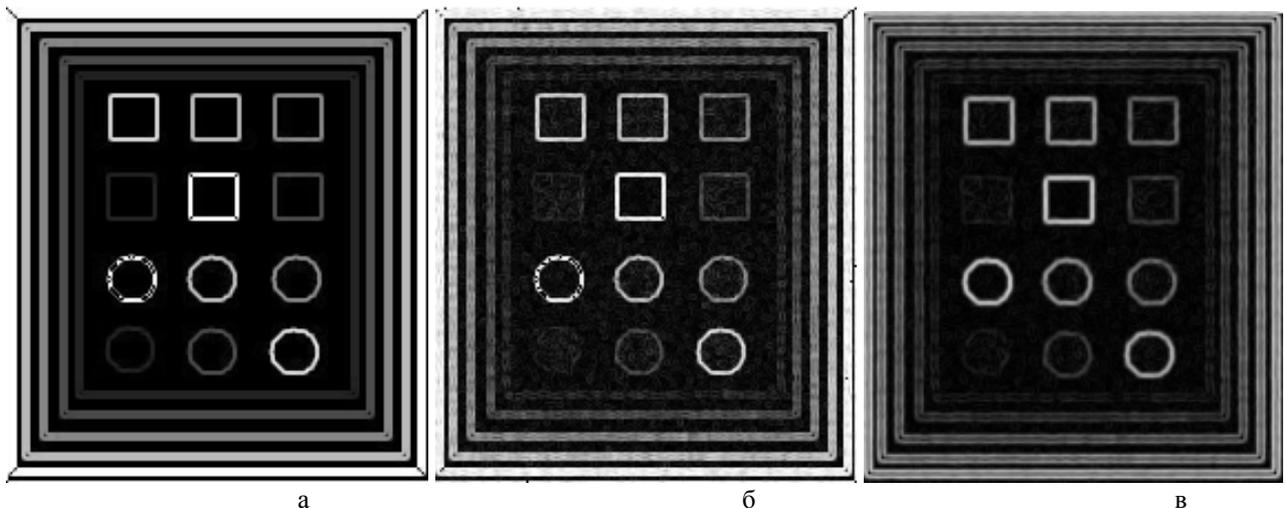


Рис. 5. Выделение контуров объектов с помощью детектора Собела: а – эталонного изображения; б – изображения со 100%-ым гауссовым шумом; в – размытого изображения с наложенным 100% -ым гауссовым шумом

Как видно из рис. 5, детектор Собела дает сложные в распознавании автоматизированными системами результаты. Полученные контурные линии широкие, размытые, нечеткие и содержат прерывания. Только в случае выделения контуров объектов размытого изображения с наложенным 100%-ым гауссовым шумом можно получить контурные линии без прерываний.

На рис. 6 приведены выделения контуров объектов изображения с помощью детектора Превитта.

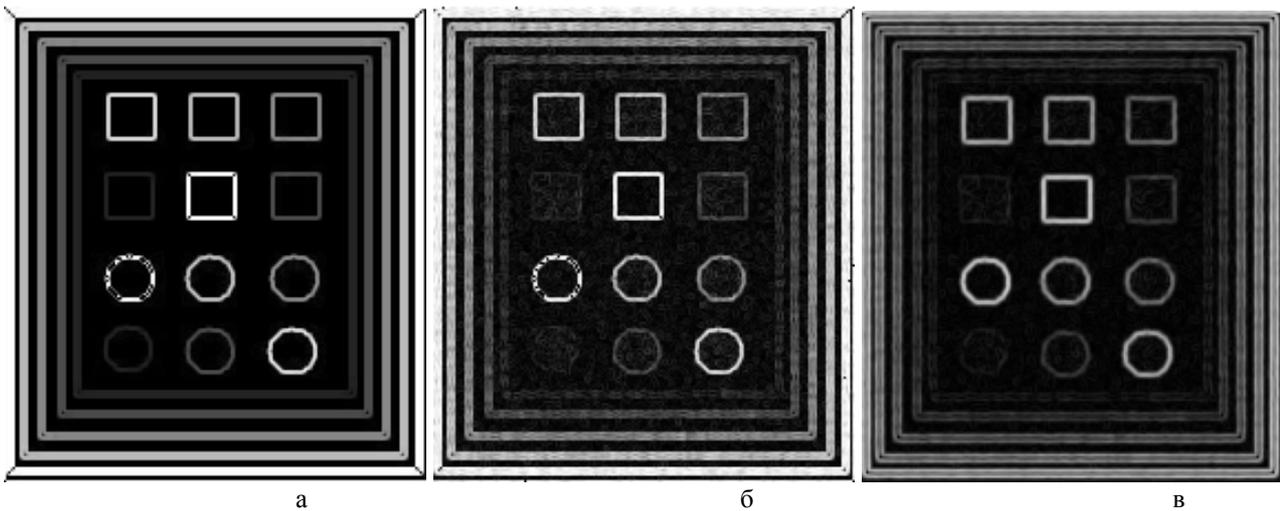


Рис. 6. Выделение контуров объектов с помощью детектора Превитта: а – эталонного изображения; б – изображения со 100%-ым гауссовым шумом; в – размытого изображения с наложенным 100%-ым гауссовым шумом

Как видно из рис. 6, детектор Превитта характеризуется высокой степенью точности определения края и устойчивостью к шуму, однако он имеет низкую эффективность при работе с размытыми изображениями.

Расчет *PSNR*- и *RMSE*-критериев в пакете Mathcad происходит согласно вышеприведенным формулам (1) и (2). Полученные значения критериев для каждого детектора при зашумленных и размытых изображениях заносят в таблицу.

В табл. 1 приведены результаты исследований работы детекторов с использованием вышеприведенных критериев.

Таблица 1

**Результаты исследований работы детекторов**

	<i>PSNR</i>		<i>RMSE</i>	
	Изображение со 100%-ым шумом	Размытое изображение со 100%-ым шумом	Изображение со 100%-ым шумом	Размытое изображение со 100%-ым шумом
Детектор Кенни	58,05	34,79	0,32	4,64
Детектор Робертса	36,39	21,36	3,87	21,8
Детектор Собела	36,49	22,18	3,82	18,85
Детектор Превитта	36,61	22,19	3,77	19,83

Анализ результатов показывает, что детектор Кенни в целом самый эффективный из всех рассмотренных детекторов при выделении контуров объектов изображения. Работа других детекторов почти одинакова по качеству выделения контуров.

**Выводы**

В работе разработана методика оценки качества работы детекторов выделения контуров объектов изображения с помощью пакета Mathcad, которую в дальнейшем можно использовать при разработке лабораторных и практических заданий для дисциплин, связанных с обработкой изображений, в частности «Электронные системы», «Компьютерная графика» для студентов отраслей знаний 15 – «Автоматизация и приборостроение» и 17 – «Электроника и телекоммуникации».

Кроме того, рассмотрены детекторы Кенни, Робертса, Собела и Превитта. Установлено, что детектор Кенни в общем самый эффективный из всех рассмотренных детекторов при

выделении контуров объектов изображения. Работа других детекторов почти одинакова по качеству выделения контуров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детектор виділення контуру розфокусованих зображень [Електронний ресурс] / Й. Й. Білинський, К. В. Огородник, І. В. Микулка // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №3. Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/332/330>.
2. Цуккерман И. И. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И. И. Цуккерман, Б. М. Кац, Д. С. Лебедев. – М. : Радио и связь, 1981. – 240 с.
3. Білинський Й. Й. Спосіб визначити світлотіні границі рефрактометричних вимірювачів / Й. Й. Білинський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 2. – С. 62 – 66.
4. Беликова Т. П. Некоторые методы цифрового препарирования изображений. Цифровая обработка сигналов и ее применение / Т. П. Беликова. – М. : Наука, 1981. – 280 с.
5. Coleman G. Image Segmentation by Clustering / G. Coleman, H. Andrew // In Proceedings of IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 773 – 785.
6. Online fast measurement of section sizes of three-dimensional objects using binary image analysis / W. Ren, Y. Wang, H. Zhu, P. Sun [et al] // Opt. Eng. – 1998. – Vol. 37, № 6. – P. 1740 – 1745.
7. Фільтрація біомедичних зображень методами OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ki.tneu.edu.ua/view/showResearch/imageFiltration.php>.
8. A computational approach to edge detection [Електронний ресурс] / J. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – Vol. PAMI-8, № 6. – Режим доступу до журн.: [https://perso.limsi.fr/vezien/PAPIERS\\_ACS/canny1986.pdf](https://perso.limsi.fr/vezien/PAPIERS_ACS/canny1986.pdf).
9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. ; пер. с англ. П. А. Чочиа. – М. : Техносфера. – 2006. – 1070 с.
10. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно-структурованих зображень / Б. П. Русин. – Л. : Вертикаль. – 1997. – 264 с.
11. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Книга 1, 2 / Прэтт У. ; пер. с англ. Д. С. Лебедева. – М. : Мир, 1982. – 790 с.
12. Уззерел У. Оценка качества изображения. Проектирование оптических систем / Уззерел У. ; под ред. Р. Шеннона, Дж. Вайанта. – М. : Мир, 1983. – 398 с.
13. Білинський Й. Й. Приглушення шуму в задачах визначення краю об'єкта на зображенні / Й. Й. Білинський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/2 (33). – С. 9 – 13.
14. Білинський Й. Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах : монографія / Й. Й. Білинський. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 272 с.

**Билинский Иосиф Иосифович** – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой электроники и наносистем.

**Кныш Богдан Петрович** – к. т. н., ассистент кафедры электроники и наносистем.

**Кулик Ярослав Анатольевич** – к. т. н., ассистент кафедры автоматки и информационно-измерительной техники.

Винницкий национальный технический университет.