

УДК 621.391

## ПОИСК ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЫРАЩИВАЕМЫХ МАСОК



**А.Т. Нгуен**  
Аспирант БГУИР,  
гражданин Вьетнама



**В.Ю. Цветков**  
Заведующий кафедрой  
инфокоммуникационных технологий  
БГУИР, доктор технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь  
E-mail: vtsvet@bsuir.by

**Аннотация.** Предложен алгоритм поиска экстремальных областей полутоновых изображений на основе выращиваемых масок. Показано, что алгоритм позволяет обнаруживать не только одинопиксельные но и многопиксельные экстремумы.

**Ключевые слова:** поиск локальных экстремумов, выращиваемые маски, выращивание областей.

**Введение.** Поиск локальных экстремумов является базовой операцией для множества задач обработки изображений. Известен алгоритм NMS (Non-maximum Suppression – подавление не максимальных значений), который первоначально использовался для уменьшения длительности откликов при детектировании тонких линий [1]. Он является одномерным (1-D) и работает перпендикулярно к краям. В работе [2] предложен алгоритм NMS для определения ключевых точек (реперов) изображения в двухмерном пространстве пикселей изображения (2-D) на основе локальных экстремумов. Этот подход использован во многих детекторах ключевых точек [3–5].

Известные алгоритмы NMS используют фиксированное количество сравнений на пиксель независимо от размера окрестности подавления (рисунок 1 а, б) [6–10].

В [11, 12] поиск локальных максимумов для окрестности  $3 \times 3$  пикселей реализуется с помощью математической морфологии. Однако математическая морфология не возвращает строгие локальные экстремумы и имеет высокую вычислительную сложность.

S1	S2	S3
S4	S0	S5
S6	S7	S8

а

S8	S1	S2
S7	S0	S3
S6	S5	S4

б

S6	S7	S8
S2	S0	S1
S3	S4	S5

в

S5	S6	S7
S4	S0	S8
S3	S2	S1

г

Рисунок 1. Предложенные сканирующие маски

а – растровое сканирование [9]; б – спиральное сканирование [10]; в – scan-line order [13]; г – spiral traverse [13];

В работе [13] модифицированы алгоритмы, предложенные в [9–10] с целью уменьшения количества сравнений на пиксель до значения менее двух. Алгоритм сначала ищет одномерные локальные максимумы вдоль линии сканирования (рис. 1 в, г). Затем каждый максимальный уровень сканирования сравнивается с соседними пикселями в соседних строках. Две двоичные маски сохраняются для текущей и следующей строк сканирования в буфере. По мере обработки нового центрального пикселя соседние пиксели маскируются, если они меньше центрального пикселя. Маскированные пиксели будут пропущены, когда наступит их очередь обработки. В результате этот алгоритм NMS для окрестности  $3 \times 3$  пикселей требует не более двух сравнений на пиксель.

Основным недостатком рассмотренных выше алгоритмов является пропуск локальных минимумов и экстремальных областей. Развитие алгоритмов поиска локальных экстремумов осуществляется в основном в направлении повышения быстродействия и сокращения объема памяти.

В этой связи, актуальной является задача поиска как однопиксельных экстремумов, так и экстремальных областей.

Для поиска на изображении экстремальных областей предлагается алгоритм на основе выращиваемых масок (SMRG – Space-oriented Mask for Region Growing). Сущность алгоритма состоит в локализации экстремальных пикселей и подавлении всех других пикселей с использованием восьми пространственно-ориентированных масок (рис. 2). Пиксели проверяются на экстремум в порядке строчного сканирования маской  $3 \times 3$  пикселей (рис.3 а).

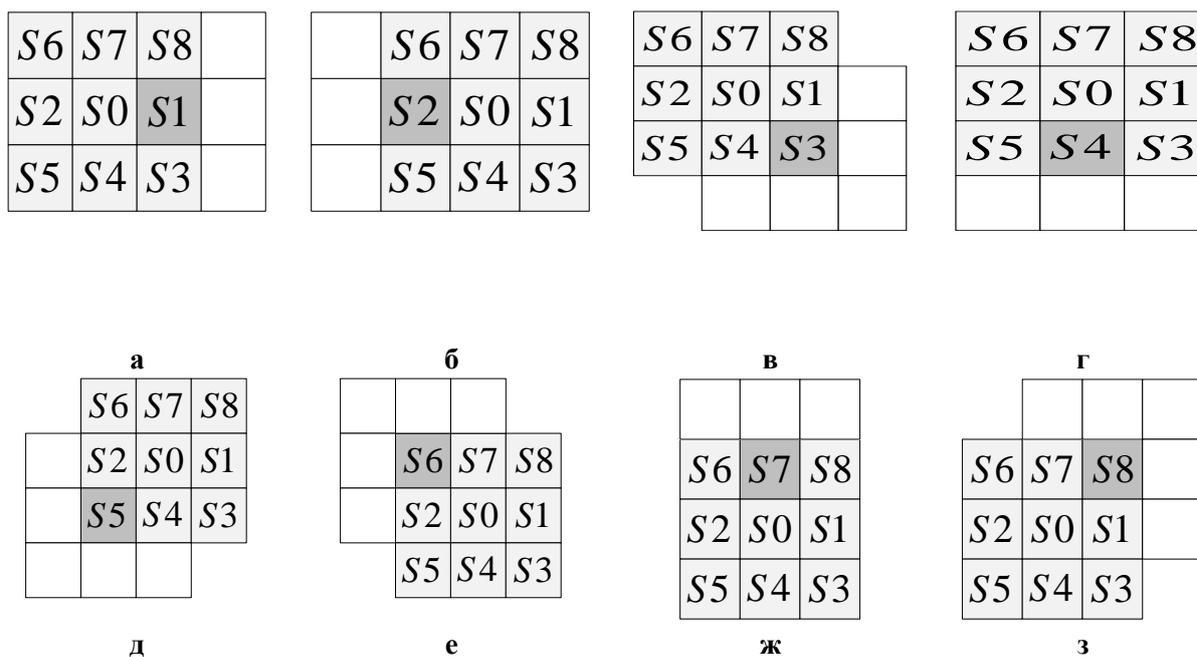


Рисунок 2. Выращиваемые маски и местоположения точек роста областей а – M(1); б – M(2); в – M(3); г – M(4); д – M(5); е – M(6); ж – M(7); з – M(8)

Вокруг начальных экстремальных точек начинается рост областей в результате присоединения смежных экстремальных пикселей с помощью пространственно-ориентированных масок, выбираемых в зависимости от местоположения экстремальных пикселей в окрестности обработки точки роста. При обнаружении экстремумов номера соответствующих масок сохраняются для следующей итерации роста. Проверенные на экстремумы пиксели отмечаются как обработанные в матрицах блокировки максимумов и минимумов (рисунки 3 б, в).

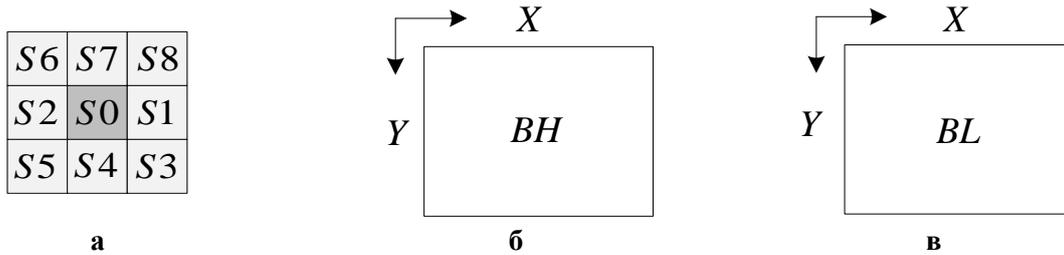


Рисунок 3. Сканирующая маска и матрицы блокировки:  
 а – сканирующая маска; б – матрица блокировки максимумов;  
 в – матрица блокировки минимумов

Алгоритм поиска экстремумов на основе выращиваемых масок состоит из следующих шагов (рис.4).

1. Если  $BH(y, x) \leftarrow 0$  – пропуск  $S0(y, x)$ , пропуск поиска максимума. Если  $BL(y, x) \leftarrow 0$  – пропуск  $S0(y, x)$ , пропуск поиска минимума.

2. Если  $BH(y, x) \leftarrow 1$  – проверка  $S0$  на максимум относительно  $S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8$ .

Если  $S0 > \overline{Si}, i = \overline{1,8}$ , то  $S0$  – максимум (однопиксельный), тогда  $BL(y, x) \leftarrow 0$  и

$$\left\{ \begin{array}{l} BH(S1) \leftarrow 0 \\ BH(S3) \leftarrow 0 \\ BH(S4) \leftarrow 0 \\ BH(S5) \leftarrow 0 \end{array} \right.$$

(1)

Иначе, если  $(S0 = S1) \vee (S0 = S3) \vee (S0 = S4) \vee (S0 = S5)$ , то проверка области на максимум с использованием выращиваемых масок.

Иначе,  $BH(y, x) \leftarrow 0$  и

$$\left\{ \begin{array}{l} BL(S1) \leftarrow 0 \\ BL(S3) \leftarrow 0 \\ BL(S4) \leftarrow 0 \\ BL(S5) \leftarrow 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

3. Иначе, если  $BL(y, x) \leftarrow 1$  – проверка  $S0$  на минимум относительно  $S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8$ .

Если  $S0 < \overline{Si}, i = \overline{1,8}$ , то  $S0$  – минимум (однопиксельный), тогда  $BH(y, x) \leftarrow 0$  и

$$\left\{ \begin{array}{l} BL(S1) \leftarrow 0 \\ BL(S3) \leftarrow 0 \\ BL(S4) \leftarrow 0 \\ BL(S5) \leftarrow 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

Иначе, если  $(S0 = S1) \vee (S0 = S3) \vee (S0 = S4) \vee (S0 = S5)$ , то проверка области на минимум с использованием выращиваемых масок.

Иначе,  $BL(y, x) \leftarrow 0$  и

$$\begin{cases} BH(S1) \leftarrow 0 \\ BH(S3) \leftarrow 0 \\ BH(S4) \leftarrow 0 \\ BH(S5) \leftarrow 0 \end{cases} \quad (4)$$

Блок-схема предлагаемого алгоритма представлена на рисунке 4.

Число операций сравнения на пиксель вычисляется следующим образом

$$CPP = \frac{N}{Y \times X} \quad (5)$$

где,  $N$  – число операций сравнения,  $Y$ ,  $X$  – размеры исходного изображения.

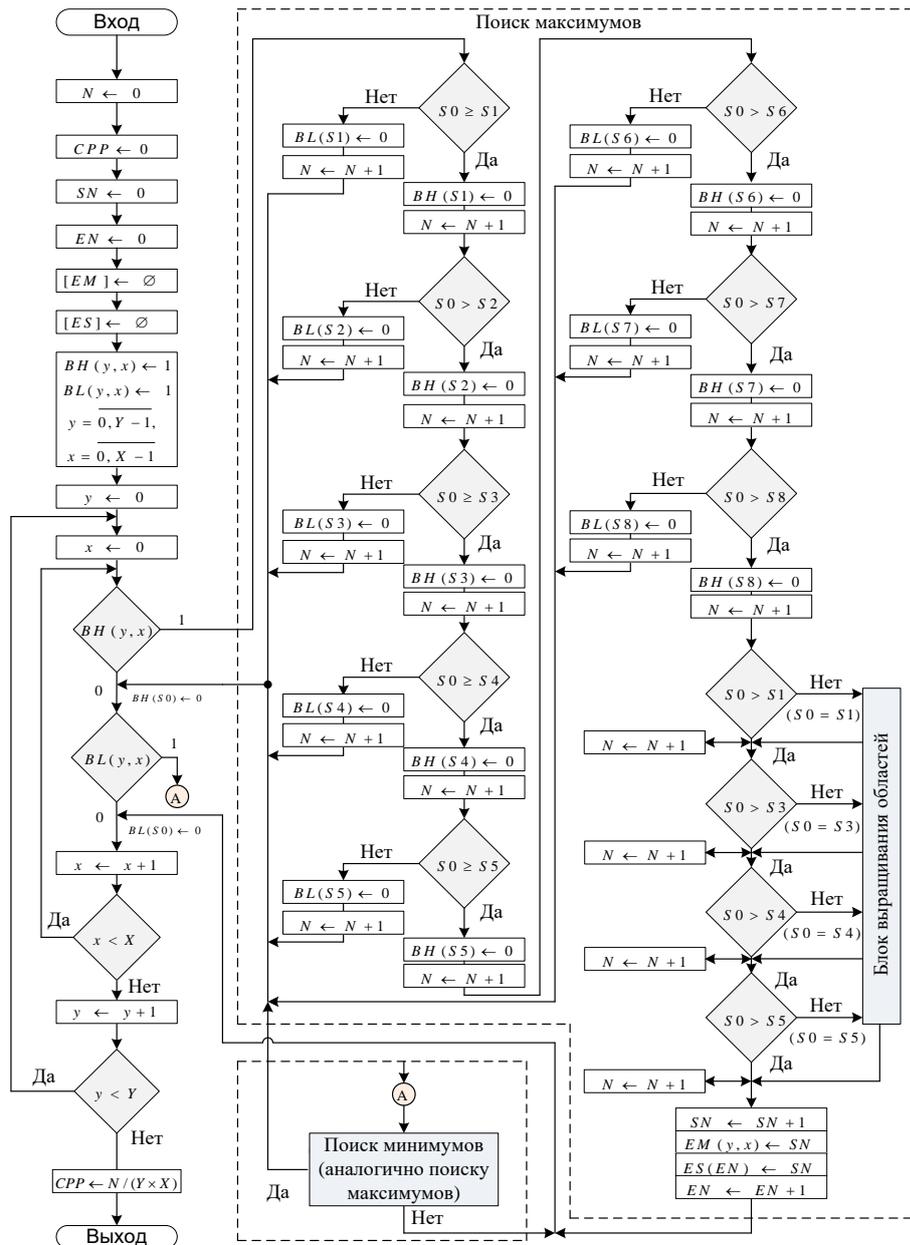


Рисунок 4. Алгоритм поиска экстремумов на основе выращиваемых масок

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица экстремумов, значение каждого элемента которой указывает на номер экстремума или его отсутствие. Эти данные используются для последующей обработки изображений.

Для оценки эффективности алгоритмов поиска выполнено сравнение предложенного алгоритма с некоторыми известными алгоритмами, представленными в среде Matlab и Matlab ®Image Processing Toolbox (R2015a). Для этого эксперимента использованы два изображения размером 512×512 пикселей (рисунок 5).



Рисунок 5. Тестовые полутоновые аэроизображения: *а* – «France»; *б* – «Aerial»

В таблице 1 приведены значения времени поиска в среде Matlab 2015a, экспериментально установленным для полутоновых аэроизображений (France – аэроизображение с размером 512×512 пикселей; Aerial – аэроизображение с размером 512×512 пикселей), экспериментально полученных для алгоритмов Scanline3x3 [13] и предложенного алгоритма (SMRG) с различной битовой глубиной.

Число операций сравнения на пиксель и средняя продолжительность выполнения установлены для каждого тестового изображения в системе Intel Core i3 3.1 ГГц с 6 ГБ ОЗУ.

Таблица 1

Результат поиска экстремумов изображений размером 512×512 пикселей

Изображение	Битовая глубина, бит	Алгоритмы поиска экстремумов (1) – Scanline3x3 [13]; (2) – предложенный алгоритм (SMRG)							
		Число обработанных пикселей		Число экстремумов		Время, С		Число сравнений на пиксель, CPP	
France	8	22865	<b>28116</b>	22865	<b>25299</b>	0,0923	<b>0,1218</b>	2,1495	<b>2,5806</b>
	7	18452	<b>27734</b>	18452	<b>22367</b>	0,0875	<b>0,1294</b>	2,0488	<b>3,0440</b>
	6	12586	<b>26958</b>	12586	<b>17539</b>	0,0865	<b>0,1554</b>	1,8780	<b>4,3974</b>
	5	7137	<b>28236</b>	7137	<b>11682</b>	0,0845	<b>0,1854</b>	1,6519	<b>6,2949</b>
	4	3720	<b>40635</b>	3720	<b>7120</b>	0,0821	<b>0,2067</b>	1,4397	<b>7,7913</b>
	3	2053	<b>48084</b>	2053	<b>4422</b>	0,0811	<b>0,2149</b>	1,2994	<b>8,5562</b>
	2	1170	<b>46766</b>	1170	<b>2794</b>	0,0805	<b>0,2429</b>	1,1908	<b>8,8832</b>
	1	501	<b>258579</b>	501	<b>1400</b>	0,0777	<b>0,2949</b>	1,1067	<b>8,9413</b>

Изображение	Битовая глубина, бит	Алгоритмы поиска экстремумов (1) – Scanline3x3 [13]; (2) – предложенный алгоритм (SMRG)							
		Число обработанных пикселей		Число экстремумов		Время, С		Число сравнений на пиксель, CPP	
Aerial	8	18423	<b>24912</b>	18423	<b>21169</b>	0,0903	<b>0,1271</b>	1,9936	<b>2,7187</b>
	7	14649	<b>24906</b>	14649	<b>18414</b>	0,0885	<b>0,1411</b>	1,8802	<b>3,4977</b>
	6	10506	<b>25199</b>	10506	<b>14869</b>	0,0833	<b>0,1558</b>	1,7321	<b>4,6566</b>
	5	6841	<b>27135</b>	6841	<b>11041</b>	0,0828	<b>0,1775</b>	1,5645	<b>5,9067</b>
	4	4050	<b>27990</b>	4050	<b>7546</b>	0,0812	<b>0,1917</b>	1,4145	<b>7,0398</b>
	3	2082	<b>31711</b>	2082	<b>4545</b>	0,0803	<b>0,2214</b>	1,2711	<b>8,1839</b>
	2	1030	<b>143958</b>	1030	<b>2459</b>	0,0795	<b>0,4345</b>	1,1916	<b>8,6850</b>
	1	346	<b>253364</b>	346	<b>760</b>	0,0695	<b>0,2493</b>	1,0666	<b>8,7679</b>

Из таблицы 1 следует, что в предложенном алгоритме число сравнений на пиксель (среднее) расчет с уменьшением битовой глубины изображений, что приводит к увеличению времени обработки. В алгоритме Scan line 3x3 [13] наблюдается обратная тенденция. Это связано с тем, что в предложенном алгоритме осуществляется поиск не только однопиксельных экстремумов но и экстремальных областей, площадь которых расчет с уменьшением битовой глубины изображений, и, соответственно, увеличивается число сравнений на пиксель, необходимых для выращивания областей. В результате предложенный алгоритм проигрывает алгоритму Scan line 3x3 от 1.3 до 4.5 раз в среднем по изображениям. Однако, использование выращиваемых масок в предложенном алгоритме для поиска экстремумов позволяют исключить ошибки в определении экстремумов. По сравнению с предложенным алгоритмом, в алгоритме Scan line 3x3 ошибка локализации экстремумов расчет с уменьшением битовой глубины изображений.

*Заключение.* Предложен алгоритм SMRG поиска экстремальных областей полутоновых изображений на основе выращиваемых масок. Сущность алгоритма заключается в использовании пространственно-ориентированных масок для поиска экстремумов. Алгоритм SMRG позволяет точнее находить экстремальные области в сравнении с известными алгоритмами. Предложенный алгоритм использует малый объем оперативной памяти, что важно для многих задач компьютерного зрения, таких как обнаружение объектов и углов, сегментация изображений.

### Литература

- [1]. Rosenfeld, A. Digital Picture Processing / A. Rosenfeld, A. Kak. Academic Press, 1976.
- [2]. Kitchen, L. Gray-level corner detection / L. Kitchen, A. Rosenfeld // Pattern Recognition Letters. – 1982. – Vol. 1. – P. 92–102.
- [3]. Harris, C. A combined corner and edge detector / C. Harris, M. Stephens // Proc. of the Fourth Alvey Vision Conference. – 1988. – P. 147–151.
- [4]. Lowe, D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints / D. Lowe // IJCV. – 2004. – Vol. 60. – P. 91–110.
- [5]. Mikolajczyk, K. Scale and affine invariant interest point detectors / K. Mikolajczyk, C. Schmid // IJCV. – 2004. – Vol. 60. – P. 63–86.
- [6]. Van Herk, M. A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels / M. Van Herk // Pattern Recognition Letters. – 1992. – Vol. 13. – P. 517–521.
- [7]. Gil, J. Computing 2-D min, median, and max / J. Gil, M. Werman // IEEE Trans. on PAMI. – 1993. – Vol. 15. – P. 504–507.
- [8]. Coltuc, D. Fast computation of rank order statistics / D. Coltuc, P. Bolon, // Proc. Of EUSIPCO. – 2000. – P. 2425–2428.
- [9]. Neubeck, A. Efficient non-maximum suppression / A. Neubeck, L. Van Gool // Proc. of ICPR. – 2006. – Vol. 3. – P. 850–855.

[10]. Forstner, W. A fast operator for detection and precise locations of distinct points, corners, and centres of circular features / W. Forstner, E. Gulch // Proc. of Intercommission Conf. on Fast Processing of Photogrammetric Data. – 1987. – P. 281–305.

[11]. Soille, P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications / P. Soille. Springer, 2006.

[12]. Gonzales, R.C. Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. Boston, MA Addison-Wesley, 2001. – 823 p.

[13]. Tuan Q. Pham. Non-maximum Suppression Using fewer than 2 Comparisons per Pixel / Tuan Q. Pham // Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS). – 2010. – Vol. 12. – P. 438–451.

## **SEARCH OF THE EXTREMUMS OF GRAYSCALE IMAGES BASED ON THE MASK OF REGION GROWING**

**NGUYEN ANH TUAN**

*Postgraduate student of the BSUIR*

**V.YU. TSVIATKOU,**

*Doctor of Engineering Sciences  
Head of Infocommunication Technologies Department BSUIR, Associate professor*

*Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics, Republic of Belarus*

*Email: vtsvet@bsuir.by*

**Abstract.** An algorithm for searching extremes on the Grayscale images using the space-oriented mask for region growing is proposed. It is shown that the algorithm works more exactly than the known algorithms for detecting key points of images.

**Keywords:** local extreme search, region growing, the space-oriented mask.