

УДК 621.391

## ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ КОНТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Х.М. АЛЬЗАКИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 18 ноября 2016*

Предложен метод текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов. Показана эффективность данного метода по сравнению с методом на основе энергетических карт.

*Ключевые слова:* текстурная сегментация изображений, классификация контурных элементов, оценка плотности контурных элементов.

### Введение

Повышение разрешения видеокamer делает актуальной задачу текстурной сегментации изображений, в результате которой локализуются области изображений, содержащие множество мелких деталей с примерно одинаковыми размером, формой, цветом (яркостью), повторяемостью. Достаточно часто для текстурной сегментации используется метод на основе энергетических карт [1, 2]. Его недостатком является высокая вычислительная сложность и возможность разделения относительно простых текстур с высокой степенью однородности. В работе [3] предлагается использовать контурные элементы изображений для текстурного анализа. Однако данный подход основан на небольшом наборе контурных примитивов и достаточно грубой статистической оценке, что приводит к значительным ошибкам разделения сложных текстур. В [4] предложен метод текстурной сегментации изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов. Сущность данного метода состоит в контурной обработке исходного изображения, определении положения на изображении контурных элементов (точек, линий и фигур) различного типа, преобразовании близко расположенных друг к другу однотипных контурных элементов в бинарные площадные объекты, двоичном кодировании взаимного расположения полученных площадных объектов в границах исходного изображения, сегментации полученной кодовой матрицы. С использованием стандартных баз Brodatz и UIUCTex тестовых текстурных изображений показано, что данный метод по сравнению с методом на основе энергетических карт обеспечивает уменьшение ошибки сегментации однородных текстурных изображений в 2,3 раза. Однако данный метод использует приблизительную оценку плотности текстуры на основе количества перекрывающихся окрестностей текстурных элементов, радиус которых выбирается по гистограмме расстояний между текстурными элементами. Это приводит к существенным ошибкам сегментации сложных текстур, фрагменты которых имеют различные плотности текстурных элементов.

Целью работы является разработка метода текстурной сегментации, обеспечивающего уменьшение ошибки локализации областей изображений за счет точного учета плотности текстурных элементов.

## Метод текстурной сегментации геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов

Предлагается метод текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов. Сущность метода состоит в сегментации, параметризации, классификации и локализации на изображении контурных элементов (точек, линий и фигур), формировании площадных объектов из равноудаленных контурных элементов одного класса и переносе этих объектов в отдельные битовые плоскости, двоичном представлении полученных битовых плоскостей. Отличие предложенного метода от известного метода текстурной сегментации на основе энергетических карт [2] заключается в использовании контурной обработки изображений, геометрических параметров для классификации и группирования однотипных контурных элементов в площадные объекты и двоичном представлении плоскостей сформированных площадных объектов. Это позволяет повысить точность сегментации изображений за счет учета типов текстурных элементов (точностью сегментации можно управлять за счет изменения числа классов контурных элементов изображений). В отличие от метода текстурной сегментации на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов [4] предложенный метод использует для формирования площадных объектов равноудаленные однотипные контурные элементы вместо суммы однотипных контурных элементов в окружности определенного радиуса. Это позволяет повысить точность сегментации изображений за счет учета периодичности текстуры (точностью сегментации можно управлять за счет изменения допустимой дисперсии расстояний между однотипными текстурными элементами).

Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Выделение перепадов яркости с помощью фильтров Робертса [5] и Превита [6]. Формируется бинарная матрица  $B = \|b(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ , в которой единичным элементам соответствуют контурные точки, где  $YX$  – размер бинарной матрицы, совпадающий с размером исходного изображения  $I = \|i(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ .

Шаг 2. Сегментация контурных элементов изображения. Формируется матрица сегментации  $SM = \|sm(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ , в которой фоновым элементам соответствует нулевой номер сегмента, а остальным элементам – номера  $sm(y, x) \in [0, N_s]$  сегментов, которым они принадлежат, где  $N_s$  – число сегментов.

Шаг 3. Классификация контурных элементов [4]. Каждому контурному элементу  $b(y, x) = 1$ , имеющему номер  $sm(y, x) = n$  ( $n > 0$ ), ставится в соответствие идентификатор (дескриптор)  $D(n) = \|d(n, p)\|_{(p=0, P_p-1)}$  из множества  $\{D(n)\}_{(n=1, N_s-1)}$  идентификаторов, относящий его к определенному классу контурных элементов с номером  $k$  ( $k \in [1, K_p]$ ), где  $N_p$  – число идентификационных параметров;  $K_p$  – число классов контурных элементов. В табл. 1 приведены идентификационные параметры, используемые для классификации контурных элементов, и примеры идентификаторов для контурных элементов различных классов.

Таблица 1. Идентификационные параметры и идентификаторы контурных элементов

k	Классы контурных элементов	Значения параметров идентификации								
		Количество соседних контурных пикселей								Число концевых точек
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Точка	Менее 5 соседних контурных пикселей								
2	Короткая прямая линия	2	2	1	0	0	0	0	0	2
3	Короткая кривая линия	2	1	0	2	3	0	1	0	2
4	Длинная кривая линия	2	0	0	7	3	1	4	2	2
5	Клякса	4	1	2	10	4	8	3	9	4
6	Пятно	0	0	9	1	3	10	5	12	0
7	Длинная прямая линия	2	14	5	1	0	1	0	0	2

Шаг 4. Разделение контурных элементов по классам. Формируется множество  $\{P_B(k)\}_{(k=1, \overline{K_P-1})}$  контурных плоскостей  $P_B(k) = \|p_B(k, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , ненулевые элементы  $p_B(k, y, x) = sm(y, x)$  в каждой из которых показывают положение соответствующих контурных элементов класса  $k$ .

Шаг 5. Локализация контурных элементов. Выполняется замена контурных элементов каждой плоскости  $P_B(k)$  одним центральным элементом. В результате формируется множество  $\{P_{PB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C})}$  точечных плоскостей  $P_{PB}(k) = \|p_{PB}(k, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , ненулевые элементы  $p_{PB}(k, y, x) = sm(y, x)$  которых указывают на центральные точки соответствующих контурных элементов, где  $K_C = K_P$ .

Шаг 6. Объединение равноудаленных центральных точек контурных элементов (рис. 1).

6.1. Инициализация счетчика  $r$  циклов ( $r = \overline{1, R_F}$ ), вектора  $P_R = \|p_R(z)\|_{(z=0, \overline{Z_R-1})}$  номеров циклов, вектора  $P_K = \|p_K(z)\|_{(z=0, \overline{Z_R-1})}$  номеров циклов и указателя  $z$  на число значимых элементов в векторе  $P_R$ :  $r \leftarrow 1$ ;  $p_R(z) \leftarrow 0$ ,  $p_K(z) \leftarrow 0$  при  $z = \overline{0, Z_R-1}$ ;  $z \leftarrow 0$ , где  $R_F$  – максимальный номер цикла (выбирается исходя из наибольшего масштаба текстуры на изображении  $I$ );  $Z_R = K_C R_F$  – число элементов вектора  $P_R$ .

6.2. Начало цикла объединения равноудаленных центральных точек контурных элементов.

Выращивание областей вокруг центральных точек контурных элементов. Формируется множество  $\{P_{FB}(k, r)\}_{(k=1, \overline{K_C})}$  плоскостей выращивания областей  $P_{FB}(k) = \|p_{FB}(k, r, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ , ненулевые элементы которых сосредоточены в квадратах размером  $(2r+1) \times (2r+1)$ , образованных элементами  $p_{FB}(k, r, y+j, x+i) = p_{PB}(k, y, x)$  вокруг проекций ненулевых элементов  $p_{PB}(k, y, x)$ , где  $j = \overline{-r, r}$ ,  $i = \overline{-r, r}$ .

6.3. Поиск пересекающихся смежных областей. На множестве  $\{P_{FB}(k, r)\}_{(k=1, \overline{K_C})}$  плоскостей выращивания областей определяются выращенные области, элементы которых граничат с элементами смежных квадратных областей. Если число смежных областей более 6 (число элементов в пересекающихся смежных областях превышает значение  $6(2r+1)^2$ ), центры таких областей переносятся в новые плоскости  $P_X(m, r) = \|p_X(m, r, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$  пересекающихся смежных областей, образующие множество  $\{P_X(m, r)\}_{(m=1, \overline{M_X(r)})}$ , соответствующие центры в точечных плоскостях  $P_{PB}(k)$  обнуляются, фиксируется значение номера  $r$  цикла в векторе  $P_R$ , фиксируется значение  $k$  класса в векторе  $P_K$  и увеличивается значение счетчика  $z$  элементов в векторе  $P_R$  ( $p_R(z) \leftarrow r$ ,  $p_K(z) \leftarrow r$ ,  $z \leftarrow z+1$ ), где  $M_X(r)$  – число матриц пересекающихся смежных областей.

6.4. Расширение множества  $\{P_{PB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C-1})}$  точечных плоскостей за счет добавления  $M_X(r)$  плоскостей  $P_X(m, r)$  выращивания областей ( $m = \overline{1, M_X(r)}$ ,  $K_C = K_C + M_X(r)$ ).

6.5. Окончание цикла объединения равноудаленных центральных точек контурных элементов. Значение счетчика  $r$  циклов увеличивается на единицу ( $r = r+1$ ) и сравнивается со значением  $R_F$  максимального номера цикла. Если  $r \leq R_F$ , то осуществляется переход к началу цикла на шаг 6.2. Если  $r > R_F$ , то осуществляется выход из цикла.

Шаг 7. Формирование множества бинарных плоскостей пересекающихся областей. Формируется множество  $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C - K_P})}$  бинарных плоскостей  $P_{XB}(k) = \parallel p_{XB}(k, y, x) \parallel_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$  пересекающихся областей, единичные элементы которых сосредоточены в квадратах размером  $(2p_R(k-1)+1) \times (2p_R(k-1)+1)$  вокруг проекций ненулевых элементов  $p_{PB}(k+K_P, y, x)$  при  $k = 1, \overline{K_C - K_P}$ .

Шаг 8. Дополнение множества бинарных плоскостей пересекающихся областей непериодическими текстурными элементами. Множество  $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C - K_P})}$  бинарных плоскостей  $P_{XB}(k) = \parallel p_{XB}(k, y, x) \parallel_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$  пересекающихся областей дополняется единичными квадратами размерами  $(2(p_R(k-1)+z)+1) \times (2(p_R(k-1)+z)+1)$  вокруг проекций ненулевых элементов  $p_{PB}(p_K(k), y, x)$  при  $k = 1, \overline{K_C - K_P}$ ,  $z = \overline{-\Delta_X, \Delta_X}$ , если эти элементы  $p_{PB}(p_K(k), y, x)$  находятся в пределах  $p_R(k)+z$  от проекции какого-либо ненулевого элемента  $p_{PB}(k+K_P, j, i)$ , где  $z$  – индекс изменения размера текстурной маски,  $\Delta_X$  – предельное отклонение размера текстурной маски, определяющее степень непериодичности текстуры.

Шаг 9. Преобразование множества бинарных плоскостей пересекающихся областей в результирующую матрицу сегментации. На основе множества  $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C - K_P})}$  бинарных плоскостей пересекающихся областей формируется результирующая матрица  $SM_R = \parallel sm_R(y, x) \parallel_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$  сегментации, значения элементов которой формируются с помощью выражения  $sm_R(y, x) \leftarrow \sum_{k=1}^{K_C - K_P} (p_{XB}(k, y, x) 2^{k-1})$ , при  $y = 0, \overline{Y-1}, x = 0, \overline{X-1}$ .



Рис. 1. Объединение равноудаленных центральных точек контурных элементов

## Оценка эффективности текстурной сегментации изображений

Произведена оценка эффективности разработанного метода текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов в сравнении с методами текстурной сегментации изображений на основе энергетических карт [1, 2] и классификации контурных элементов и логического сложения классов [4]. В качестве критериев эффективности использованы время и среднеквадратическая ошибка сегментации. Для получения объективной оценки точности сегментации использованы тестовые изображения, содержащие по две периодических текстуры (рис. 2, *a, d, z, л, n, y*), граница между которыми проходит строго по середине изображения. На рис. 2 приведены результаты сегментации тестовых изображений с помощью рассматриваемых трех методов. Как следует из рис. 2, ошибки разделения текстурных областей с помощью методов сегментации на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов и на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов группируются вблизи границы областей. Метод текстурной сегментации на основе энергетических карт имеет ошибки не только вблизи границы, но и на самих сегментах. Особенно плохо данным методом выделяются области, содержащие длинные линии.

В табл. 2 приведены значения среднеквадратической ошибки и времени сегментации для каждого тестового изображения. Из табл. 2 следует, что использование разработанного метода на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов позволяет уменьшить среднеквадратическую ошибку сегментации в сравнении с методами на основе энергетических карт и классификации контурных элементов и логического сложения классов в 18 и 4 раза соответственно с усреднением по тестовым изображениям. Это достигается за счет увеличения вычислительной сложности разработанного метода и проявляется в увеличении времени сегментации с ростом текстурной плотности. Проигрыш во времени сегментации по сравнению с методом на основе энергетических карт составляет 20 раз с усреднением по тестовым изображениям. Разработанный метод уступает в скорости методу сегментации на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов только на тестовых изображениях, содержащих текстуры с высокой плотностью (проигрыш составляет в среднем 1,8 раза).

Таблица 2. Значения ошибок и время текстурной сегментации тестовых изображений

Изображение	Метод		
	Сегментация текстурных изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов	Предложенный метод	Энергетические карты
<b>Ошибка текстурной сегментации тестовых изображений</b>			
Клякса; Длинная линия	0,0814	0	0,2555
Длинная линия; Пятно	0,0501	0,0104	0,2753
Клякса; Точка	0,0108	0	0,0475
Точка; Короткая линия	0,0344	0,0050	0,1003
Длинная линия; Точка	0,0499	0,0283	0,0386
Клякса; Пятно	0,0163	0,0051	0,1231
<b>Время текстурной сегментации тестовых изображений</b>			
Клякса; Длинная линия	10,6111	4,7793	1,7508
Длинная линия; Пятно	18,9848	12,8403	1,7606
Клякса; Точка	11,8558	15,1225	1,7458
Точка; Короткая линия	49,0853	129,473	1,7128
Длинная линия; Точка	18,1134	26,2915	2,0779
Клякса; Пятно	24,9491	21,5660	2,21700

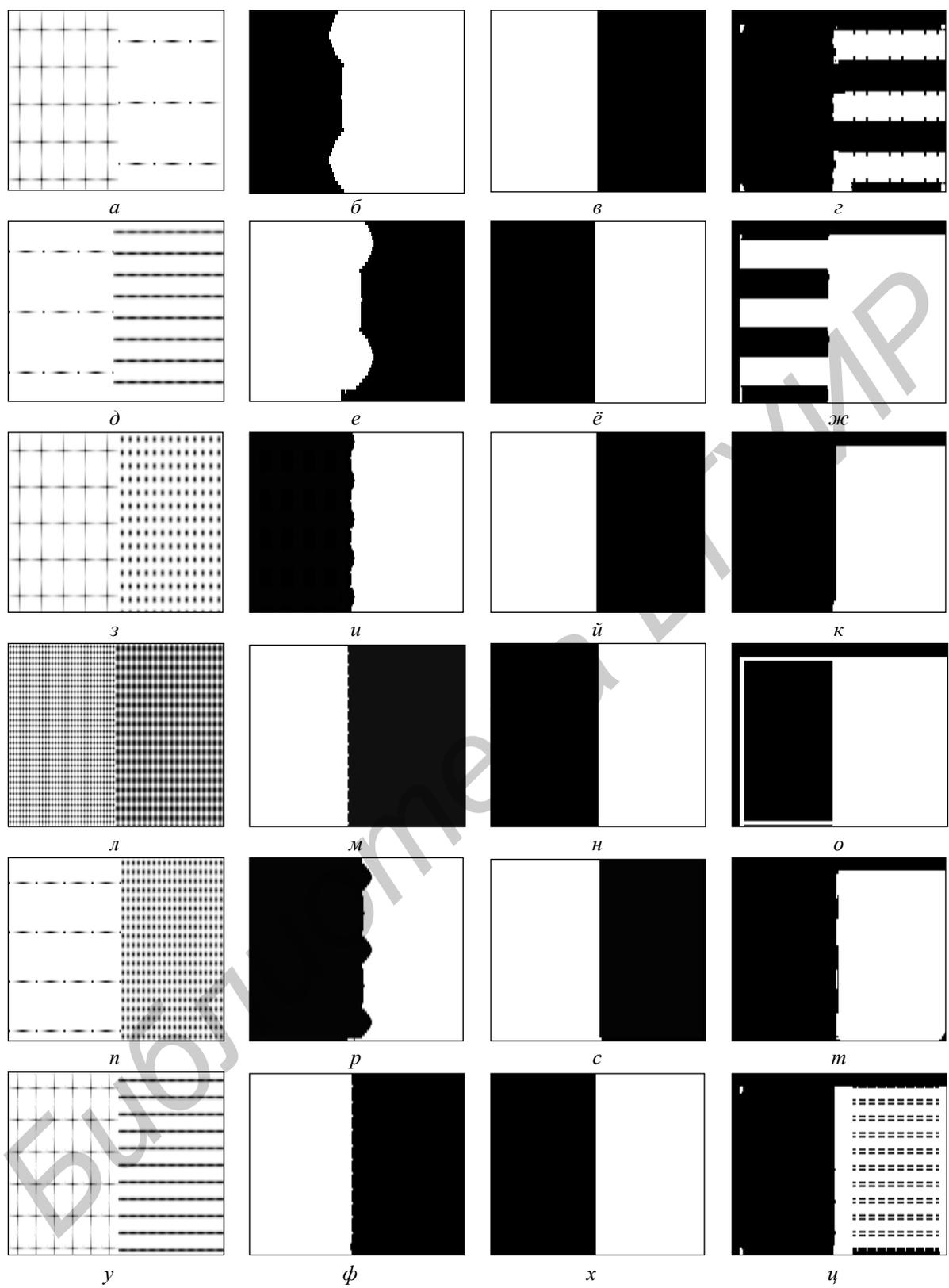


Рис. 2. Тестовые изображения и результаты текстурной сегментации: *a, д, з, л, у* – тестовые изображения; *б, е, и, м, р, ф* – сегментация текстурных изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов; *в, ё, й, н, с, х* – сегментация предложенным методом; *г, ж, к, о, т, ц* – сегментация с помощью энергетической карты

## Заключение

Разработан метод текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов. Показано, что в сравнении с методом на основе энергетических карт разработанный метод обеспечивает уменьшение среднеквадратической ошибки в 18 раз за счет повышения вычислительной сложности, приводящего к увеличению времени сегментации в 20 раз.

## ISOLATION OF TEXTURAL IMAGE REGION BASED ON GEOMETRIC CLASSIFICATION AND ASSESSMENT DENSITY OF CONTOUR ELEMENTS

H.M. ALZAKKI, V.Yu. TSVIATKOU

### Abstract

A method of texture image segmentation based on geometric classification and assessment density of contour elements is proposed. The efficiency of this method compared with the method based on the energy map is shown.

*Keywords:* textural image segmentation, classification contour elements, assessment density of contour elements.

### Список литературы

1. *Lee D-Ch., Shchenk T.* // A Collection of Papers Presented At the XVII Congress of ISPRS. 1992. №48. P. 75-80.
2. *Ertuğrul Ö.* // International Journal of Intelligent Information Systems. 2014. Vol. 3. №2. P. 13-18.
3. *Jithendra M., Serge B., Thomas L. et. al* // International Journal of Computer. 2001. №43(1). P. 7-27.
4. *Конопелько В.К., Касанин С.Н., Цветков В.Ю. и др.* // Веснік Сувязі. 2016. №1(135). P. 48-52.
5. *Shrivakshan G., Chandrasekar C.* // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2012. Vol. 9. №1. P. 269-276.
6. *Rahman khan A., Thakur K.* // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. P. 245-250.