

УДК 621.391

ТЕКСТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ КОНТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Х.М. АЛЬЗАКИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 6 апреля 2017

Аннотация. Предложен метод текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов, обеспечивающий в сравнении с методом на основе энергетических карт уменьшение ошибки локализации текстурных областей за счет учета геометрических характеристик образующих их элементов.

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

Abstract. A method of texture image segmentation based on geometric classification and assessment density of contour elements. The proposed method in comparison with the method based on energy maps, providing a reduction in the error of localization of textural regions by taking into account the geometric characteristics of the elements.

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

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 105, No. 3, pp. 93–99

Texture image segmentation based on geometric classification and assessment density of contour elements

H.M. Alzakki, V.Yu. Tsviatkou

Введение

В результате текстурной сегментации локализуются области изображений, содержащие мелкие детали с примерно одинаковыми размером, формой, цветом (яркостью), повторяемостью. Для текстурной сегментации широко используется метод на основе энергетических карт [1, 2]. Его недостатками являются 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. Предложенный в [2] метод текстурной сегментации изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов 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, переносе этих объектов в отдельные битовые плоскости и 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.

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 [4] и Превита [5]. 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 [6]. Каждому контурному элементу $b(y, x) = 1$, имеющему номер $sm(y, x) = n$ ($n > 0$), ставится в соответствие идентификатор (дескриптор) $D(n) = \|d(n, p)\|_{(p=0, P-1)}$ 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 идентификационных параметров								Число концевых точек
		Количество пикселей, имеющих p смежных контурных пикселей								
		p = 1	p = 2	p = 3	p = 4	p = 5	p = 6	p = 7	p = 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 $\{P_B(k)\}_{(k=1, K_p-1)}$ контурных плоскостей $P_B(k) = \|p_B(k, y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$, 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 $\{P_{PB}(k)\}_{(k=1, K_p)}$ точечных плоскостей $P_{PB}(k) = \|p_{PB}(k, y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$, 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).

Шаг 6.1. Инициализация счетчика r циклов ($r = \overline{1, R_F}$), вектора $P_R = \|p_R(z)\|_{(z=\overline{0, Z_R-1})}$ номеров циклов, вектора $P_K = \|p_K(z)\|_{(z=\overline{0, Z_R-1})}$ 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 .

Шаг 6.2. Начало цикла объединения равноудаленных центральных точек контурных элементов.

Выращивание областей вокруг центральных точек контурных элементов. Формируется множество $\{P_{FB}(k, r)\}_{(k=\overline{1, K_C})}$ плоскостей выращивания областей $P_{FB}(k) = \|p_{FB}(k, r, y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$, 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 $j = \overline{-r, r}$, $i = \overline{-r, r}$.

Шаг 6.3. Поиск пересекающихся смежных областей. На множестве $\{P_{FB}(k, r)\}_{(k=\overline{1, K_C})}$ 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 $P_X(m, r) = \|p_X(m, r, y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ пересекающихся смежных областей, образующие множество $\{P_X(m, r)\}_{(m=\overline{1, M_X(r)})}$, 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.

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

Шаг 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 $\{P_{XB}(k)\}_{(k=\overline{1, K_C-K_P})}$ бинарных плоскостей $P_{XB}(k) = \|p_{XB}(k, y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ 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 $k = \overline{1, K_C - K_P}$.

Шаг 8. Дополнение множества бинарных плоскостей пересекающихся областей непериодическими текстурными элементами. Множество $\{P_{XB}(k)\}_{(k=\overline{1, K_C-K_P})}$ бинарных плоскостей $P_{XB}(k) = \|p_{XB}(k, y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ 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 $k = \overline{1, K_C - K_P}$, $z = \overline{-\Delta_X, \Delta_X}$, 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, Δ_X – предельное отклонение размера текстурной маски, определяющее степень неперIODичности текстуры.

Шаг 9. Преобразование множества бинарных плоскостей пересекающихся областей в результирующую матрицу сегментации. На основе множества $\{P_{XB}(k)\}_{(k=\overline{1, K_C - K_P})}$ бинарных плоскостей пересекающихся областей формируется результирующая матрица $SM_R = \|sm_R(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ 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 $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

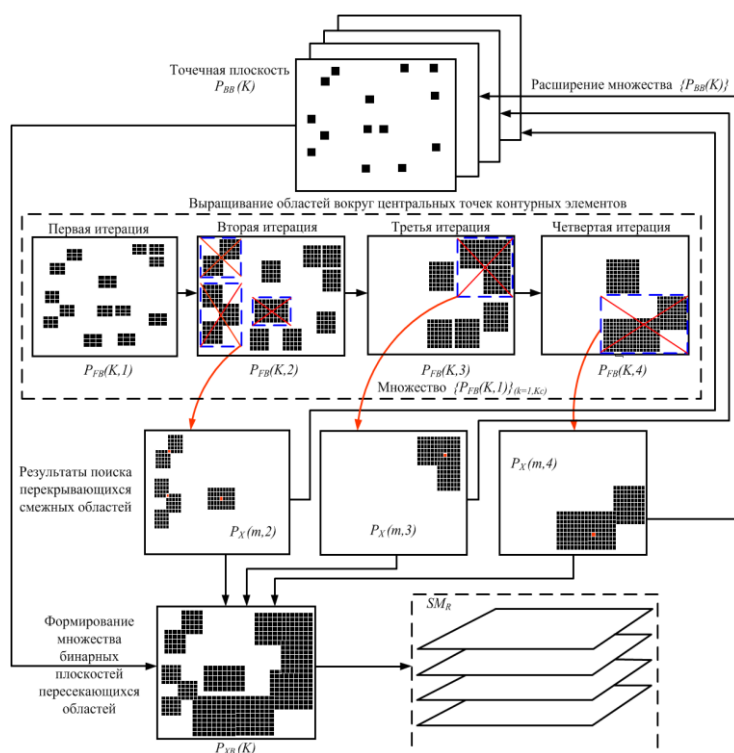


Рис. 1. Объединение равноудаленных центральных точек контурных элементов

Оценка эффективности текстурной сегментации изображений

Произведена оценка эффективности разработанного метода текстурной сегментации изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов (GCAD – texture image segmentation based on geometric classification and assessment density of contour elements) в сравнении с методами текстурной сегментации изображений на основе энергетических карт (EM – energy map) [1, 2] и классификации контурных элементов и логического сложения классов (CCLAC – texture image segmentation based on classification of contour elements and logical addition of classes) [4]. В качестве критериев эффективности использованы время и средняя ошибка сегментации. Для получения объективной оценки точности сегментации использованы тестовые изображения, содержащие по две периодических текстуры (рис. 2, а, д, з, л, п, у), граница между которыми проходит строго по середине изображения.

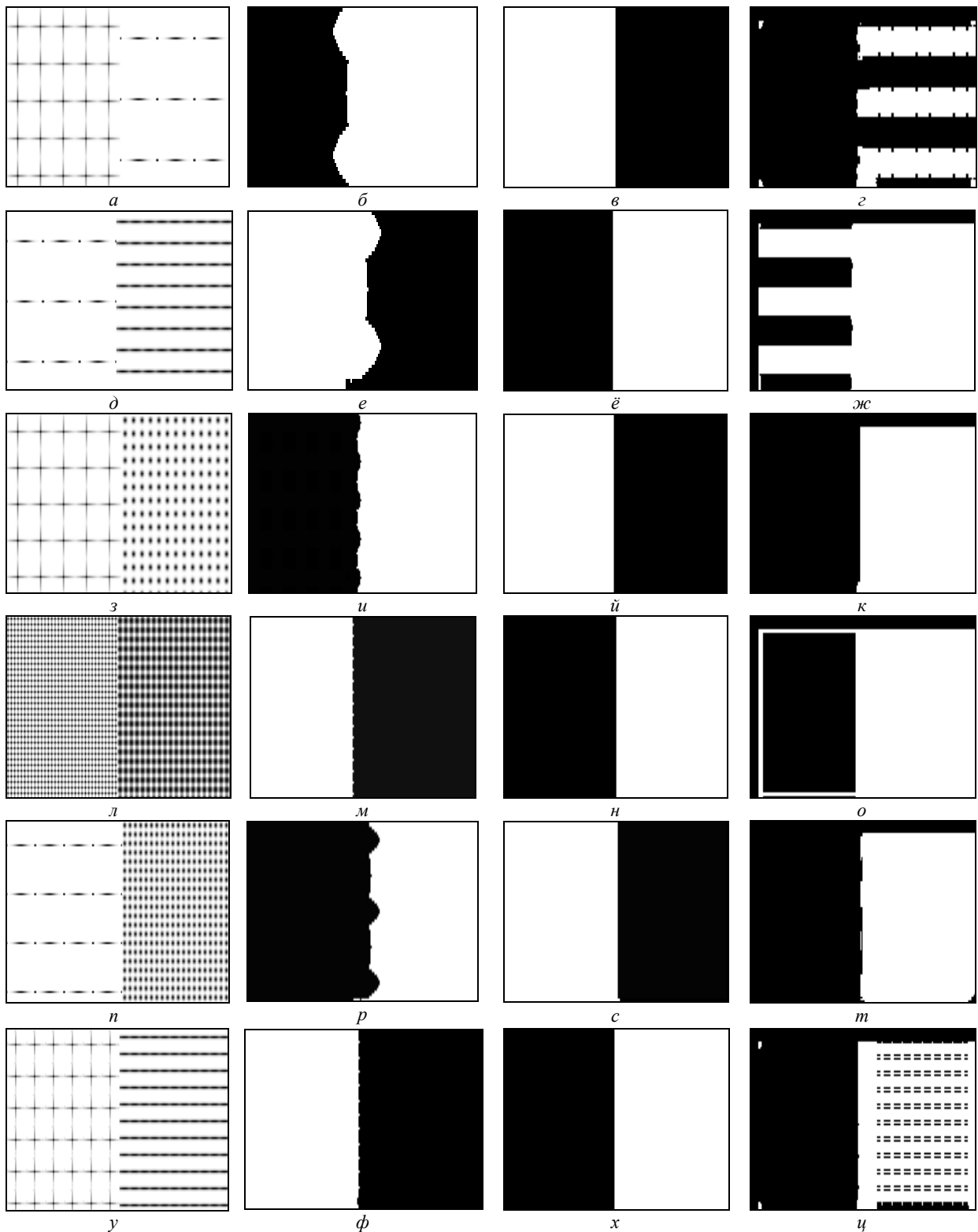


Рис. 2. Результаты текстурной сегментации тестовых изображений:

a, д, з, л, п, у – тестовые изображения; *б, е, и, м, р, ф* – результаты сегментации с помощью метода на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов; *в, ё, й, н, с, х* – результаты сегментации с использованием предложенного метода; *г, ж, к, о, т, ц* – результаты сегментации с использованием метода на основе энергетических карт

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. Наибольшие ошибки данный метод обеспечивает для областей, содержащих длинные линии.

В табл. 2 и 3 приведены значения средней 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 среднюю 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 (табл. 3).

Таблица 2. Значения ошибок текстурной сегментации тестовых изображений

Изображение	Метод		
	Метод на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов	Предложенный метод	Метод на основе энергетических карт
	Ошибка текстурной сегментации тестовых изображений		
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

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). Для рассматриваемых методов на рис. 3 приведены зависимости времени сегментации от текстурной плотности, выражаемой в расстоянии (в пикселях) между контурными элементами.

Таблица 3. Значения времени текстурной сегментации тестовых изображений

Изображение	Метод		
	Метод на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов	Предложенный метод	Метод на основе энергетических карт
	Время текстурной сегментации тестовых изображений		
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

Из рис. 3 следует, что время сегментации с использованием метода на основе энергетических карт не зависит от текстурной плотности, что делает его легко масштабируемым, но менее точным по сравнению с остальными рассматриваемыми методами.

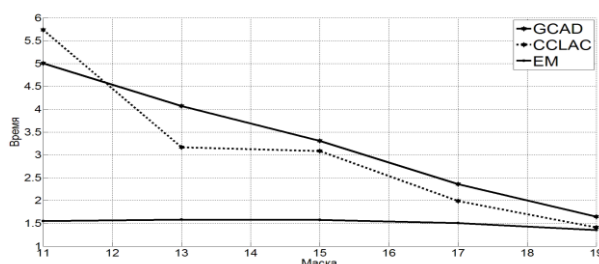


Рис. 3. Время сегментации

Из табл. 2 и 3 следует, что метод сегментации на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов в сравнении с методом сегментации на основе энергетических карт обеспечивает уменьшение ошибки сегментации в 4 раз при увеличении времени обработки в 12 раз с усреднением по тестовым изображениям.

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 ошибки сегментации в 18 раз за счет повышения вычислительной сложности и увеличения времени сегментации в 20 раз. При этом метод сегментации на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов в сравнении с методом сегментации на основе энергетических карт обеспечивает уменьшение ошибки сегментации в 4 раза при увеличении времени обработки в 12 раз с усреднением по тестовым изображениям.

Список литературы / References

1. Lee D-Ch., Shchenk T. Image segmentation of texture measurement // A Collection of Papers Presented At the XVII Congress of ISPRS. 1992. № 48. P. 75–80.
2. Ertuğrul Ö. Adaptive texture energy measure method // International Journal of Intelligent Information Systems. 2014. Vol. 3. № 2. P. 13–18.
3. Shrivakshan G.T., Chandrasekar C.A. Comparison of various edge detection techniques used in image processing // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2012. Vol. 9. № 1. P. 269–276.
4. Xu B., Wang J., Zhao G. Adaptive algorithm of edge detection based on mathematical morphology // Journal of Computer Applications. 2009. Vol. 29. № 4. P. 997–999.
5. Materka A., Strzelecki M. Texture Analysis Methods – A Review // Technical university of lodz, institute of electronics. 1998. № 11. P. 9–11.
6. Alzakki H.M., Tsviatkou V. Texture image segmentation based on classification of contour elements and logical addition of classes // Al-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (IEEE). 2016. P. 1–6.

Сведения об авторах

Альзаки Х.М., аспирант кафедры сетей и устройств телекоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Цветков В.Ю., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой систем телекоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Alzakki H.M., postgraduate student of department of networks and telecommunication devices of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Tsviatkou V.Yu., D.Sci., associate professor, chief of telecommunication systems department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,
Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-84-08;
e-mail: vtsvet@bsuir.by;
Цветков Виктор Юрьевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17- 293-84-08;
e-mail: vtsvet@bsuir.by;
Tsviatkou Victor Yur'evich