

УДК 621.391

ТЕКСТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ КОНТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОГЛОЩЕНИЯ МЕЛКИХ ОБЛАСТЕЙ

Х.М. АЛЬЗАКИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 19 июня 2017

Аннотация. Предложен метод текстурной сегментации изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей, обеспечивающий повышение точности выделения текстурных участков изображений за счет уточнения их границ.

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

Abstract. Texture image segmentation method based on estimation of density of contour elements and absorption of small regions, providing an increase in the accuracy in the selection of texture regions in the images to the specification of their boundaries is proposed.

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

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 107, No. 5, pp. 46-53
Texture image segmentation based on estimation of
density of contour elements and absorption of small regions
H.M. Alzakki, V.Yu. Tsviatkou

Введение

Сегментация по яркости (цвету) широко используется в различных прикладных задачах, связанных с классификацией и распознаванием объектов изображений. Это одна из наиболее затратных в вычислительном плане процедур. С ростом разрешающей способности видеокамер повышается детализация изображений, что приводит к разбиению их на все большее число областей и делает сегментацию по яркости не эффективной. В таких случаях требуется использование текстурной сегментации, объединяющей в области близкорасположенные относительно мелкие и схожие по структуре элементы изображения. Широкое распространение получили методы текстурной сегментации, использующие локальные бинарные шаблоны [1], фильтр Габора [2], преобразование Фурье [3], обнаружение кромок [4], автокорреляционная функция [5], фрактальные модели [6], полутоновые матрицы смежности [7], модели Марковского случайного поля [8], текстоны [9], диаграммы Вороного [10], вейвлет-преобразование [11]. Среди них выделяется метод текстурной сегментации на основе энергетических карт [12], отличающийся относительно высоким быстродействием и низкой вычислительной сложностью. Его недостатками являются высокая вычислительная сложность и возможность разделения относительно простых текстур с высокой степенью однородности. В работе [15] 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 [13] метод текстурной сегментации изображений на основе классификации контурных элементов 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. Данный недостаток устраняет метод текстурной сегментации на основе оценки плотности контурных элементов, предложенный в [13]. Общим недостатком рассмотренных методов является существенная избыточная сегментация, связанная с неточным выделением границ текстурных областей из-за плавного перехода одной текстуры в другую и выражающаяся в формировании большого числа мелких областей в районе границ крупных текстурных сегментов. Это усложняет интерпретацию и вносит неопределенность в последующую обработку результатов текстурной сегментации. Потенциальная возможность борьбы с избыточной сегментацией заложена в методы, основанные на геометрической классификации и оценке плотности контурных элементов [13]. Эта возможность связана с распределением текстурных областей в процессе их обработки по различным битовым плоскостям, что позволяет уточнить их границы и присоединить мелкие приграничные области к более крупным областям.

Целью работы является разработка модификации метода текстурной сегментации, основанного на оценке плотности контурных элементов, для повышения точности выделения текстурных областей изображений.

Метод текстурной сегментации на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей

Предлагается метод текстурной сегментации изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей. Сущность метода состоит в выделении, 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, анализе перекрытий площадных объектов различных битовых плоскостей и присоединении результатов их пересечений к объектам большей площади, двоичном представлении обработанных битовых плоскостей. Отличие предложенного метода от известного метода текстурной сегментации на основе энергетических карт [14] заключается в использовании контурной обработки изображений и геометрических параметров для классификации и группирования однотипных контурных элементов в площадные объекты, двоичном представлении плоскостей сформированных площадных объектов с поглощением мелких областей.

Алгоритм текстурной сегментации изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей состоит из следующих шагов.

1. Выделение перепадов яркости с помощью фильтров Робертса [16] и Превита [17]. 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 $I = \|i(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$.

2. Сегментация контурных элементов изображения. На основе матрицы B 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.

3. Классификация контурных элементов [15]. 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.

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 .

5. Локализация контурных элементов. Выполняется замена контурных элементов каждой плоскости $P_B(k)$ единичными пикселями, расположенными в центрах контурных элементов. 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 $K_C = K_P$.

6. Объединение равноудаленных центральных пикселей контурных элементов. Осуществляется расширение множества $\{P_{PB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C-1})}$ точечных плоскостей за счет добавления $M_X(r)$ плоскостей $P_X(m, r)$ пересекающихся смежных областей, где $m = \overline{1, M_X(r)}$, $K_C = K_C + M_X(r)$, $r = \overline{1, R_F}$, R_F – максимальный номер цикла (выбирается исходя из наибольшего масштаба текстуры на изображении I).

7. Формирование множества бинарных плоскостей пересекающихся областей. Формируется множество $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C-K_P})}$ бинарных плоскостей $P_{XB}(k) = \|p_{XB}(k, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ 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 $k = \overline{1, K_C - K_P}$.

8. Дополнение множества бинарных плоскостей пересекающихся областей непериодическими текстурными элементами. Множество $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C-K_P})}$ бинарных плоскостей $P_{XB}(k) = \|p_{XB}(k, y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ 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 $k = \overline{1, K_C - K_P}$, $z = \overline{-\Delta_X, \Delta_X}$, 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 непериодичности текстуры.

9. Поглощение мелких областей (рис. 1).

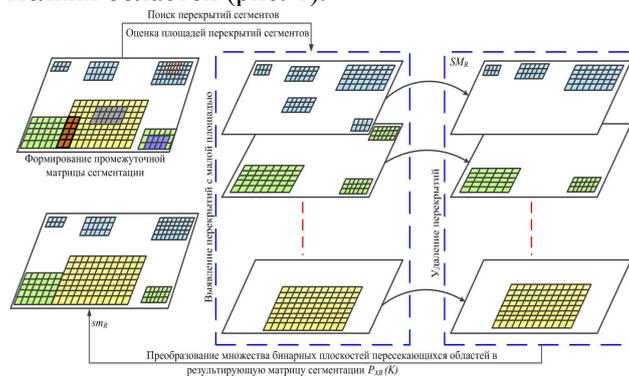


Рис. 1. Диаграмма обработки бинарных плоскостей пересекающихся областей

9.1. Формирование промежуточной матрицы сегментации. Формируется промежуточная матрица $SM_T = \|sm_T(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ сегментации в результате объединения бинарных плоскостей $\{P_{XB}(k)\}_{(k=1, \overline{K_C-K_P})}$ пересекающихся областей, элементы

которой вычисляются, с помощью выражения $sm_T(y, x) \leftarrow \sum_{k=1}^{K_C - K_P} (p_{XB}(k, y, x) 2^{k-1})$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

9.2. Поиск перекрытий сегментов, принадлежащих различным бинарным плоскостям пересекающихся областей. Формируется матрица $SM_X = \|sm_X(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ перекрытий, состоящая из элементов матрицы SM_T , значения которых не соответствуют значениям 2^k , с помощью выражения $sm_X(y, x) \leftarrow \begin{cases} sm_T(y, x) & \text{при } sm_T(y, x) \neq 2^k \\ 0 & \text{при } sm_T(y, x) = 2^k \end{cases}$, где $k = \overline{1, K_C - K_P}$.

9.3. Оценка площадей перекрытий сегментов, принадлежащих различным бинарным плоскостям пересекающихся областей. Формируется вектор $M_S = \|m_S(z)\|_{(z=\overline{0, N_X})}$ площадей перекрытий, элементы которого вычисляются с помощью выражения $m_S(sm_X(y, x)) \leftarrow m_S(sm_X(y, x)) + 1$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$, где N_X – число перекрытий сегментов (при инициализации вектора M_S его значения определяются нулевыми).

9.4. Выявление перекрытий с малой площадью. В матрице SM_X перекрытий обнуляются элементы, для которых соответствующие значения вектора M_S площадей перекрытий сегментов больше порога, с помощью выражения $(m_S(sm_X(y, x)) > T_S) \Rightarrow (sm_X(y, x) \leftarrow 0)$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$, где T_S – порог, значение которого может быть установлено равным 35 по минимальной площади текстуры 7×5 пикселей, образованной 6 точками, расположенными в два ряда по 3 точки с минимальным интервалом в один пиксель. Если матрица SM_X перекрытий оказывается нулевой – $\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} sm_X(y, x) = 0$ (нет перекрытий с малой площадью), то осуществляется переход на шаг 10 алгоритма.

9.5. Определяются бинарные плоскости $P_{XB}(k)$ и сегменты, участвующие в образовании малых перекрытий. Для каждого перекрытия, состоящего из ненулевых элементов $sm_X(y, x)$ матрицы SM_X , имеющих одинаковые значения, определяются образующие сегменты, принадлежащие различным бинарным плоскостям $P_{XB}(k)$ пересекающихся областей. Образующих сегментов может быть два и более.

9.6. Удаление перекрытий. Среди образующих сегментов определяется главный сегмент, имеющий наибольшую площадь. Если несколько образующих сегментов имеют наибольшую площадь, то в качестве главного выбирается сегмент, принадлежащий старшей бинарной плоскости $P_{XB}(k)$ пересекающихся областей. Перекрытие добавляется к главному сегменту и вычитается из остальных образующих сегментов.

9.7. Удаление малых сегментов. После удаления перекрытий размеры образующих сегментов уменьшаются, что может привести к образованию сегментов с размером меньше порогового T_S . Если такие сегменты обнаруживаются, то они удаляются (составляющие их элементы в матрице $P_{XB}(k)$ обнуляются).

10. 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 $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Оценка эффективности текстурной сегментации изображений

Произведена оценка эффективности текстурной сегментации изображений с использованием разработанного метода на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей в сравнении с методами на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов [15], оценки плотности контурных элементов [13] и энергетических карт [14]. В качестве критериев эффективности использованы средняя ошибка сегментации и время. Для получения объективной оценки точности сегментации использованы четыре тестовых изображения, содержащие по две периодических текстуры с различной сложностью и плотностью (рис. 2, *a–z*), граница между которыми проходит строго по середине изображения.

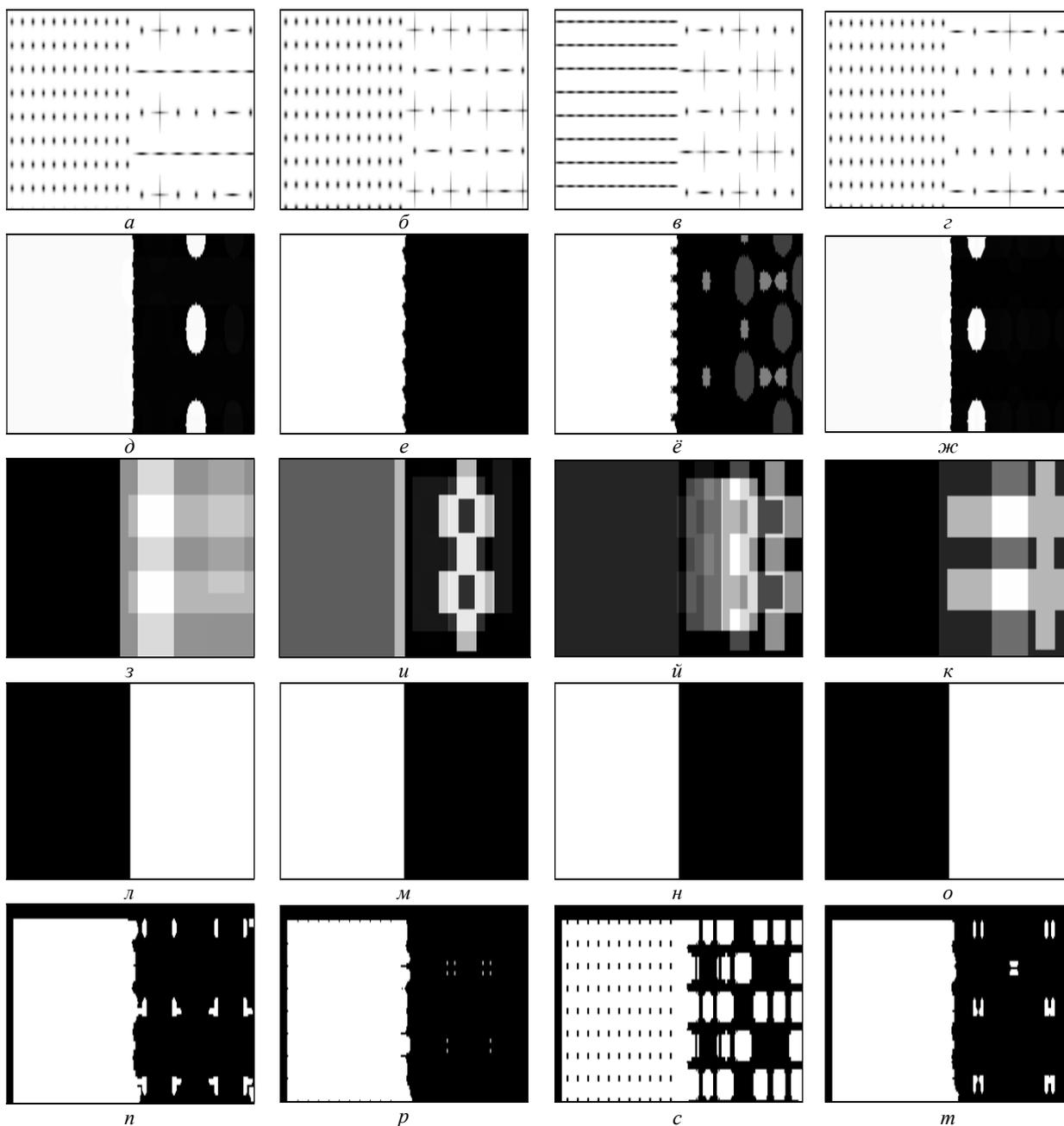


Рис. 2. Результаты текстурной сегментации тестовых изображений:

a–z – тестовые изображения Test 1, Test 2, Test 3, Test 4; *д–жс* – результаты сегментации с помощью метода на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов; *з–к* – результаты сегментации с помощью метода на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов; *л–о* – результаты сегментации с использованием предложенного метода; *п, р, с, т* – результаты сегментации с использованием метода на основе энергетических карт

На рис. 2, δ - t приведены результаты сегментации тестовых изображений с помощью рассматриваемых четырех методов. Как следует из рис. 2, ошибки разделения текстурных областей с помощью методов сегментации на основе классификации контурных элементов, геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов, энергетических карт растут с увеличением сложности текстур и группируются вблизи границ и локальных неоднородностей.

В табл. 1 и 2 приведены значения средней ошибки и времени сегментации для рассматриваемых тестовых изображений. Из табл. 1 следует, что разработанный метод позволяет уменьшить среднюю ошибку сегментации в сравнении с методами на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов, геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов, энергетических карт до 160, 299, 98 раз с усреднением по тестовым изображениям.

Таблица 1. Ошибки текстурной сегментации тестовых изображений

Изображение	Средняя ошибка текстурной сегментации для методов на основе			
	классификации контурных элементов и логического сложения классов	геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов	оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей	энергетических карт
Test 1	0,3798	0,4171	0,0041	0,1073
Test 2	0,003	0,4430	0,0041	0,0787
Test 3	0,1155	0,4212	0,0041	0,3023
Test 4	0,3996	0,3945	0,0041	0,0613

Это достигается в разработанном методе за счет увеличения вычислительной сложности и проявляется в увеличении времени сегментации (табл. 2). Разработанный метод уступает в скорости сегментации методам на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов, геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов, энергетических карт до 2,8, 3,39, 27 раз с усреднением по тестовым изображениям.

Таблица 2. Время текстурной сегментации тестовых изображений

Изображение	Время (с) текстурной сегментации для методов на основе			
	классификации контурных элементов и логического сложения классов	геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов	оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей	энергетических карт
Test 1	18,123	13,663	53,957	2,468
Test 2	31,160	28,463	101,21	2,600
Test 3	28,100	24,784	77,126	2,535
Test 4	18,285	15,030	44,679	2,619

Заключение

Разработан метод текстурной сегментации изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей. Сущность метода состоит в выделении, 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, анализе перекрытий площадных объектов различных битовых плоскостей и присоединении результатов их пересечений к объектам большей площади, двоичном представлении обработанных битовых плоскостей. В отличие от известного метода текстурной сегментации на основе энергетических карт предложенный метод использует контурную обработку изображений и геометрические параметры для классификации и группирования однотипных контурных элементов в площадные объекты, двоичное представление плоскостей сформированных площадных объектов с поглощением мелких областей. Это позволило уменьшить среднюю ошибку сегментации в 98 раз при увеличении времени сегментации в 27 раз.

Список литературы

1. Huang X. Li S.Z., Wang Y. Shape Localization Based on Statistical Method Using Extended Local Binary Pattern // Proceedings of the Third International Conference on Image and Graphics (ICIG'04). Stockholm, 2014. P. 1–4.
2. Hammouda K. Texture Segmentation Using Gabor Filters // In Visual Communications and Image Processing. Boston, 1993. P. 1– 8.
3. Florindo J.B., Bruno O.M. Fractal descriptors based on Fourier spectrum applied to texture analysis // Journal elsevier. 2012. Vol. 391, № 10. P. 4909–4922.
4. Dharampal F., Mutneja V. Methods of Image Edge Detection: A Review // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2015. Vol. 4, № 2. P. 183–191.
5. Kang Y. Texture Structure Classification and Depth Estimation using Multi-Scale Local Autocorrelation Features // Proceedings of the 2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'03). Chengdu, China, 2003. P. 1–4.
6. Costa A.F., Mamani G.H., Traina A.M. An Efficient Algorithm for Fractal Analysis of Textures // Multimedia and Expo, 2002. Proceedings. 2002. Vol. 2. P. 157–160.
7. 3D Computation of Gray Level Co-occurrence in Hyperspectral Image Cubes/ F. Tasi [et al.] // IEEE transactions on image processing. 2007. Vol. 24, № 44. P. 429–440.
8. Zhang Y., Brady M., Smith S. Segmentation of Brain MR Images Through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm // IEEE transactions on medical imaging. 2001. Vol. 20, № 1. P. 45–57.
9. Javed Y., Khan M.M. Image Texture Classification Using Textons // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. 2011. Vol. 13, № 4. P. 358–363.
10. Tuceryan M., Jain A. Texture Segmentation Using Voronoi Polygons // 2011 IEEE International Symposium on Multimedia. USA, 2011. P. 257–262.
11. Arivazhagan S., Ganesan L. Texture classification using wavelet transform // Patter Recognition Letters. 2003. Vol. 24. P. 1513–1521.
12. Lee D-Ch., Shchenk T. // A Collection of Papers Presented At the XVII Congress of ISPRS. 1992. № 48. P. 75–80.
13. Альзаки Х.М., Цветков В.Ю. Текстульная сегментация изображений на основе геометрической классификации и оценки плотности контурных элементов // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: матер. междунар. науч.-техн. семинара. Минск, апрель–декабрь 2016 г. Ч. 2. С. 17–23.
14. Ertuğrul, Ö. Adaptive texture energy measure method // International Journal of Intelligent Information Systems. 2014. Vol. 3, № 2. P. 13–18.
15. 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.
16. 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.
17. Materka A., Strzelecki M. Texture Analysis Methods – A Review // Technical university of lodz, institute of electronics. 1998. № 11. P. 9–11.

References

1. Huang X. Li S.Z., Wang Y. Shape Localization Based on Statistical Method Using Extended Local Binary Pattern // Proceedings of the Third International Conference on Image and Graphics (ICIG'04). Stockholm, 2014. P. 1–4.
2. Hammouda K. Texture Segmentation Using Gabor Filters // In Visual Communications and Image Processing. Boston, 1993. P. 1– 8.
3. Florindo J.B., Bruno O.M. Fractal descriptors based on Fourier spectrum applied to texture analysis // Journal elsevier. 2012. Vol. 391, № 10. P. 4909–4922.
4. Dharampal F., Mutneja V. Methods of Image Edge Detection: A Review // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2015. Vol. 4, № 2. P. 183–191.
5. Kang Y. Texture Structure Classification and Depth Estimation using Multi-Scale Local Autocorrelation Features // Proceedings of the 2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'03). Chengdu, China, 2003. P. 1–4.
6. Costa A.F., Mamani G.H., Traina A.M. An Efficient Algorithm for Fractal Analysis of Textures // Multimedia and Expo, 2002. Proceedings. 2002. Vol. 2. P. 157–160.

7. 3D Computation of Gray Level Co-occurrence in Hyperspectral Image Cubes/ F. Tasi [et al.] // IEEE transactions on image processing. 2007. Vol. 24, № 44. P. 429–440.
8. Zhang Y., Brady M., Smith S. Segmentation of Brain MR Images Through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm // IEEE transactions on medical imaging. 2001. Vol. 20, № 1. P. 45–57.
9. Javed Y., Khan M.M. Image Texture Classification Using Textons // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. 2011. Vol. 13, № 4. P. 358–363.
10. Tuceryan M., Jain A. Texture Segmentation Using Voronoi Polygons // 2011 IEEE International Symposium on Multimedia. USA, 2011. P. 257–262.
11. Arivazhagan S., Ganesan L. Texture classification using wavelet transform // Patter Recognition Letters. 2003. Vol. 24. P. 1513–1521.
12. Lee D-Ch., Shchenk T. // A Collection of Papers Presented At the XVII Congress of ISPRS. 1992. № 48. P. 75–80.
13. Al'zaki H.M., Cvetkov V.Ju. Teksturnaja segmentacija izobrazhenij na osnove geometricheskoj klassifikacii i ocenki plotnosti konturnyh jelementov // Telekommunikacii: seti i tehnologii, algebraicheskoe kodirovanie i bezopasnost' dannyh: mater. mezhdunar. nauchno-tehnich. seminar. Minsk, aprel'-dekabr' 2016 g. Ch. 2. S. 17–23.
14. Ertuğrul, Ö. Adaptive texture energy measure method // International Journal of Intelligent Information Systems. 2014. Vol. 3, № 2. P. 13–18. (in Russ.)
15. 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.
16. 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.
17. Materka A., Strzelecki M. Texture Analysis Methods – A Review // Technical university of lodz, institute of electronics. 1998. № 11. P. 9–11.

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.

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

Information about the authors

Alzakki H.M., PG 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.

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