

### Список литературы

1. Petros R.A., DeSimone J.M. // Nat. Rev. Drug Discov. 2010. Vol. 9 (8). P. 615–627.
2. Fischer H., Orth H. // Acad. Verlag. 1937. Bd. 1. P. 305.
3. Зорина Т.Е., Янковский И.В., Кравченко И.Е. и др. // Биофизика. 2015. Т. 60., вып. 5. С. 922–930.
4. Зорина Т.Е., Янковский И.В., Кравченко И.Е. и др. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2013. № 3. С. 30–35.

УДК 621.391

## АДАПТИВНОЕ ДВУХПОРОГОВОЕ КВАНТОВАНИЕ И СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАЗДЕЛЕНИЯ И СЛИЯНИЯ ОБЛАСТЕЙ

О.М. АЛЬМИЯХИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ, В.К. КОНОПЕЛЬКО, О.В. ГУСЕВА

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

*Поступила в редакцию 23 ноября 2016*

Приведены результаты оценки эффективности адаптивного двухпорогового квантования в сравнении с однопороговым квантованием для сегментации полутоновых изображений с использованием модифицированного метода разделения и слияния областей, основанного на прогрессивной обратной кластеризации.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, квантование, выращивание областей, разделение и слияние областей.

### Введение

Сегментация широко используется в обработке медицинских изображений. Известные методы сегментации, такие как выращивание областей [1] и разделения и слияния областей [2] сравнивают разности значений соседних пикселей с заданным порогом при принятии решения о присоединении пикселя к сегменту. В сегменты объединяются пиксели, примерно равные по значению, с использованием достаточно простого критерия. Усложнение данного критерия с целью повышения качества сегментации приводит к усложнению алгоритма сегментации, а в некоторых случаях – избыточности. Избежать этого позволяет предварительное адаптивное квантование изображений до сегментации [3–6], упрощающее критерий присоединения пикселя к сегменту за счет использования строгого равенства (реализуется как поразрядное суммирование значений сравниваемых пикселей по модулю 2 с проверкой результата на ноль) вместо сравнения модуля разности с заданным порогом или другого более сложного критерия.

Целью работы является оценка эффективности адаптивного двухпорогового квантования для сегментации полутоновых изображений с использованием метода разделения и слияния областей, его модификации на основе прогрессивной обратной кластеризации и метода выращивания областей.

### Методы выращивания областей и разделения и слияния областей

Метод выращивания областей [1] основан на присоединении к текущему сегменту, изначально состоящему из одного образующего пикселя (точки роста), других пикселей, совпадающих по значению с образующим пикселем. Когда не остается пикселей, которые могут быть присоединены, сегмент считается сформированным и осуществляется переход на следующий цикл сегментации, начинающийся с выбора следующего образующего пикселя. Образующие пиксели могут назначаться или выбираться автоматически по различным критериям. В простейшем случае значения образующих пикселей выбираются по порядку при построчном сканировании изображения. При использовании адаптивного порога возможность присоединения

пикселя к сегменту зависит не от значения опорного пикселя, а от значения ближайшего соседнего уже присоединенного пикселя.

В методе разделения и слияния областей [2] образующие пиксели не выбираются, а сегменты формируются в результате кластеризации по схеме квадрата-дерева. На каждом уровне квадрата-дерева кластеры размером  $2 \times 2$  формируются из близких по значениям пикселей. Несоответствующие пиксели кластера присоединяются к соседним кластерам или образуют сформированные сегменты. На следующий верхний уровень квадрата-дерева каждый кластер отображается одним пикселем, значение которого соответствует средней яркости кластера, в результате чего происходит объединение соседних близких по значениям кластеров. Как и в методе выращивания областей, порог, используемый для оценки возможности объединения в кластер, может быть адаптивным (зависеть от среднего значения кластера или сегмента).

### Метод разделения и слияния областей на основе прогрессивной обратной кластеризации

В некоторых случаях (при решении задач картографирования, видеонаблюдения, распознавания и других) требуются точная сегментация, многомасштабное представление и сжатие сегментированного изображения, адаптация к ограничению на время сегментации. Метод разделения и слияния областей с использованием квадрата-дерева позволяет точно сегментировать изображения, однако он не обеспечивает многомасштабное представление и сжатие сегментированного изображения, адаптацию к ограничению на время сегментации.

Для устранения данного недостатка разработан метод сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации (Progressive Backward Clustering Segmentation and Compact Representation – PBCS&CR) [7]. Сущность метода состоит в древовидной кластеризации однородных по яркости областей пикселей и формировании множества кратномасштабных кластерных образов исходного изображения (прямая кластеризация); присвоении номеров кластеризованным однородным областям на всех уровнях кратномасштабного представления исходного изображения и поиске избыточных границ однородных областей (прогрессивная обратная кластеризация); объединении соседних однородных по яркости кластеризованных областей (уточнение границ сегментов).

Метод PBCS&CR сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации, как и метод RG наращивания областей, обеспечивает полное и точное выделение однородных областей, а также многомасштабное представление сегментированного изображения. В отличие от RG метода, PBCS&CR обеспечивает компактное представление результатов сегментации изображения и его многомасштабного представления за счет эффективного вложенного кодирования расположения однородных областей в процессе обратной кластеризации (рис. 1) [7].

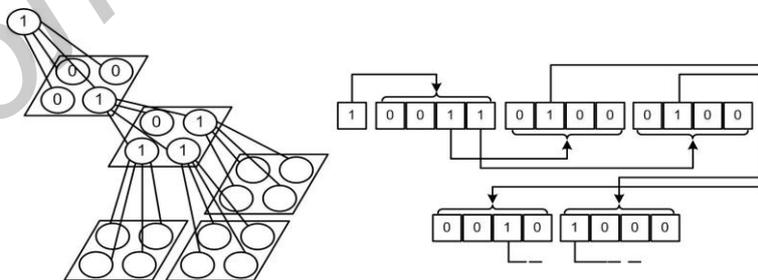


Рис. 1. Формирование вложенного кода

### Адаптивное двухпороговое квантование изображений

Перед сегментацией изображений предлагается использовать алгоритм построчного двухпорогового квантования значений пикселей, основанный на оценке разности значений центрального пикселя и соседних с ним пикселей в окрестности Мура по отношению к двум порогам  $\Delta_B$  (определяет условия разделения значений яркости соседних пикселей по соседним

уровням квантования) и  $\Delta_s$  (определяет условия приведения значения пикселя к несоответствующему ему уровню квантования из-за локального характера отличия яркости этого пикселя от яркости окрестных пикселей), связанным соотношением  $\Delta_b = K\Delta_s$ , где  $K \geq 1$  – балансный коэффициент, определяющий степень влияния значения второго порога на результаты квантования (если значение  $K$  стремится к  $\infty$ , то результаты квантования стремятся к результатам однопорогового алгоритма).

Если модуль минимальной разности значения центрального пикселя окрестности Мура со значениями квантованных левого и трех верхних пикселей меньше порога  $\Delta_b$ , то значение центрального пикселя окрестности Мура меняется на значение ближайшего к нему по яркости квантованного пикселя. Если данное условие не выполняется, то для оценки используется порог  $\Delta_s$ .

Определяется квантованный пиксель окрестности Мура (левый или один из трех верхних), ближайший по значению к центральному пикселю. Вычисляются модули разностей значений этого пикселя со всеми значениями окрестных пикселей в окрестности Мура. Если все эти разности меньше порога  $\Delta_s$ , то центральному пикселю окрестности Мура присваивается значение ближайшего ему по значению квантованного пикселя в окрестности Мура. Если данное условие не выполняется, то центральный пиксель окрестности Мура сохраняет свое значение.

### Оценка эффективности методов сегментации и квантования изображений

Компактность многомасштабного представления сегментированного изображения зависит от результатов квантования исходного изображения. С увеличением шага квантования (и увеличением ошибки квантования) коэффициент сжатия сегментированных изображений возрастает. Из рис. 2 следует, что метод PBCS&CR обеспечивает сжатие сегментированного изображения до 4,5 раз в зависимости от изображения по сравнению с методом RG [7].

Сжатие сегментированных изображений в методе PBCS&CR достигается за счет увеличения вычислительной сложности, что приводит к снижению скорости сегментации. В табл. 1 приведено время сегментации многомасштабного представления тестовых изображений (4 уровня) методами PBCS&CR и RG, реализованными в среде Matlab и выполненными на компьютере (4 CPUs, 3.6 GHz, 4096 MB). Из табл. 1 следует, что метод PBCS&CR уступает в скорости сегментации методу RG до 230 раз.

Таблица 1. Время сегментации тестовых изображений, с

Методы сегментации	Тестовые изображения		
	Barbara	Lena	Mandrill
PBCS&CR	5,1999	4,6640	5,1300
RG	0,0224	0,0235	0,0224

Для задач идентификации изображений с использованием сегментов важной характеристикой является их стабильность при изменении яркости, контраста и повороте изображения. На рис. 2 приведены тестовые полутоновые изображения, которые использованы для оценки стабильности разработанного метода PBCS&CR сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации при использовании двух алгоритмов квантования: равномерного (РК) с постоянным шагом квантования и адаптивного двухпорогового (2П).

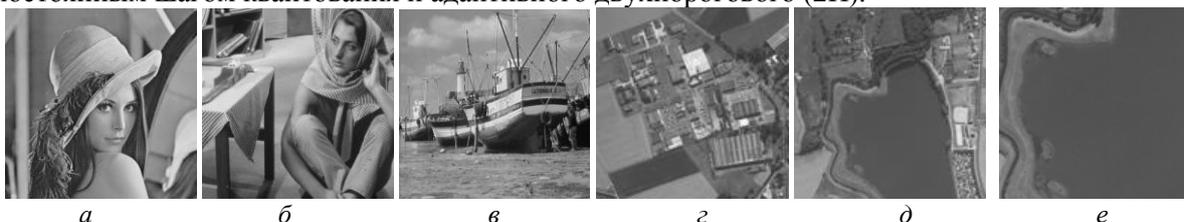


Рис. 2. Тестовые изображения  $128 \times 128$  пикселей: а – Lena; б – Barbara; в – Boat; г – France; д – France2; е – Water

В табл. 2 и 3 приведены оценки стабильности сегментации по площади и числу сегментов при изменении яркости, контраста и повороте тестовых изображений. В табл. 2 стабильность  $S_S$  по площади сегментов определяется как отношение суммарной площади  $S_B$  сегментов, выделенных на исходном изображении, к суммарной площади  $S_T$  сегментов, выделенных на преобразованном изображении (с измененными значениями яркости, контраста, угла поворота) с помощью выражения  $S_S = \frac{S_B}{S_T}$ .

Стабильность  $S_N$  сегментации по числу сегментов определяется как отношение числа  $N_B$  сегментов, выделенных на исходном изображении, к числу  $N_T$  сегментов, выделенных на преобразованном изображении (с измененными значениями яркости, контраста, угла поворота) с помощью выражения  $S_N = \frac{N_B}{N_T}$ .

Таблица 2. Оценки стабильности метода по площади сегментов при равномерном (РК) и адаптивном двухпороговом (2П) квантовании

Преобразование изображения		Тестовые изображения и алгоритмы квантования											
		Lena		Barbara		Boat		France		France2		Water	
Параметр	Величина	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П
Яркость	-30 %	0,84	0,83	0,81	0,90	0,95	0,92	0,87	0,87	0,82	0,83	0,94	0,95
	-20 %	0,75	0,76	0,77	0,80	0,87	0,93	0,85	0,84	0,85	0,81	0,94	0,94
	-10 %	0,84	0,89	0,72	0,83	0,63	0,80	0,82	0,88	0,83	0,80	0,96	0,94
	10 %	0,87	0,84	0,78	0,85	0,91	0,93	0,82	0,87	0,81	0,91	0,93	0,94
	20 %	0,83	0,89	0,73	0,84	0,62	0,92	0,81	0,87	0,87	0,83	0,97	0,94
	30 %	0,83	0,82	0,78	0,83	0,85	0,91	0,89	0,89	0,86	0,89	0,95	0,93
Контраст	-30 %	0,79	0,72	0,72	0,74	0,92	0,86	0,81	0,82	0,88	0,88	0,93	0,95
	-20 %	0,76	0,85	0,72	0,80	0,76	0,91	0,75	0,82	0,70	0,88	0,88	0,95
	-10 %	0,71	0,75	0,77	0,84	0,80	0,92	0,71	0,83	0,83	0,80	0,93	0,95
	10 %	0,79	0,77	0,73	0,77	0,82	0,89	0,73	0,85	0,77	0,78	0,91	0,92
	20 %	0,64	0,79	0,74	0,83	0,44	0,81	0,60	0,78	0,53	0,78	0,80	0,89
	30 %	0,70	0,73	0,72	0,77	0,58	0,75	0,66	0,76	0,61	0,76	0,92	0,88
Поворот	90°	0,66	0,69	0,60	0,62	0,79	0,74	0,65	0,64	0,73	0,73	0,88	0,90
	180°	0,59	0,61	0,60	0,59	0,81	0,76	0,65	0,63	0,73	0,68	0,87	0,86
	270°	0,63	0,68	0,59	0,58	0,80	0,75	0,61	0,67	0,71	0,71	0,90	0,87

Таблица 3. Оценки стабильности метода по числу сегментов при равномерном (РК) и адаптивном двухпороговом (2П) квантовании

Преобразование изображения		Тестовые изображения и алгоритмы квантования											
		Lena		Barbara		Boat		France		France2		Water	
Параметр	Величина	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П	РК	2П
Яркость	-30 %	0,96	0,98	0,69	0,97	0,92	1,01	1,00	0,97	1,00	0,98	0,59	0,95
	-20 %	0,98	0,97	0,94	0,96	1,13	1,02	0,97	0,99	1,17	1,01	0,56	0,94
	-10 %	0,92	0,96	0,94	0,98	1,07	1,00	0,59	1,01	1,20	0,98	0,58	0,97
	10 %	0,93	0,97	0,96	1,00	0,91	1,00	0,70	0,99	1,06	0,97	0,78	0,94
	20 %	0,92	0,97	0,88	0,98	1,13	0,98	0,96	0,99	1,08	0,97	1,21	0,94
	30 %	0,94	0,99	0,91	0,99	1,05	1,00	1,01	0,97	1,02	0,97	0,88	0,97
Контраст	-30 %	0,81	0,80	0,63	0,85	0,48	0,73	0,25	0,77	0,83	0,67	0,34	0,63
	-20 %	0,81	0,85	0,79	0,92	0,95	0,83	0,59	0,88	1,56	0,76	0,77	0,74
	-10 %	0,90	0,95	0,95	0,98	0,88	0,92	0,85	0,94	1,10	0,92	0,35	0,84
	10 %	1,00	1,07	0,89	1,02	0,75	1,07	1,03	1,02	1,65	1,08	0,82	1,07
	20 %	1,10	1,13	1,00	1,00	1,38	1,15	1,09	1,05	2,10	1,14	1,99	1,19
	30 %	1,09	1,13	0,99	1,02	0,82	1,21	1,03	1,08	1,83	1,18	0,98	1,23
Поворот	90°	0,81	0,78	0,90	0,92	1,08	1,08	1,03	1,01	0,93	0,88	0,93	0,90
	180°	1,07	1,02	0,93	0,97	1,00	0,98	1,00	0,98	0,98	0,99	1,10	1,14
	270°	0,81	0,82	0,91	0,90	1,05	1,06	1,03	0,99	0,89	0,87	0,96	1,00

Из табл. 2 и 3 следует, что влияние выбора алгоритмов квантования на стабильность результатов сегментации зависит от типа изображения. Из табл. 2 следует, что адаптивное двухпороговое квантование обеспечивает повышение стабильности по площади сегментов по сравнению с равномерным квантованием до 1,48 раза при изменении яркости, до 1,84 раза при изменении контраста, до 1,1 раза при повороте. При этом проигрыш в стабильности может достигать 1,05 раза при изменении яркости, 1,1 раза при изменении контраста, 1,07 раза при повороте (т.о. выигрыш превышает проигрыш).

Из табл. 3 следует, что адаптивное двухпороговое квантование обеспечивает повышение стабильности по числу сегментов по сравнению с равномерным квантованием до 1,71 раза при изменении яркости, до 1,84 раза при изменении контраста, до 1,05 раза при повороте. При этом проигрыш в стабильности может достигать 1,05 раза при изменении яркости, 1,48 раза при изменении контраста, 1,06 раза при повороте (т.о. выигрыш, как правило, превышает проигрыш).

### Заключение

Рассмотрен метод PBCS&CR сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации. Сущность метода состоит в древовидной кластеризации однородных по яркости областей пикселей и формировании множества кратномасштабных кластерных образов исходного изображения, присвоении номеров кластеризованным однородным областям на всех уровнях кратномасштабного представления исходного изображения и поиске избыточных границ однородных областей, объединении соседних однородных по яркости кластеризованных областей. Приведены результаты оценки эффективности адаптивного двухпорогового квантования в сравнении с однопороговым квантованием для сегментации полутоновых изображений с использованием метода PBCS&CR. Показано, что адаптивное двухпороговое квантование по сравнению с равномерным квантованием обеспечивает повышение стабильности по площади сегментов до 1,48, 1,84, 1,1 раза и по числу сегментов до 1,71, 1,84, 1,05 раза при изменении яркости, контраста и повороте соответственно.

## ADAPTIVE TWO-THRESHOLD QUANTIZATION AND IMAGE SEGMENTATION BASED ON THE SPLITTING AND MERGING AREAS

O.M. ALMIAHI, V.Yu. TSVIATKOU, V.K. KANAPELKA, O.V. GUSEVA

### Abstract

The results of evaluating the effectiveness of the adaptive two-threshold quantization in comparison with one-threshold quantization for segmentation of gray-scale images using a modified method of separation and merging of areas based on progressive backward clustering are presented.

*Keywords:* image segmentation, quantization, region growing, splitting and merging areas.

### Список литературы

1. Singh K.K., Singh A. // International Journal of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7. № 5. P. 414–417.
2. Muhsin, Z.F., Rehman A., Altameem A. et. al // The Imaging Science Journal. 2014. Vol. 62. № 1. P. 56–62.
3. Chang J.H., Fan K.C., Chang Y.L. // Image and Vision Computing. 2002. № 20. P. 203–216.
4. Halder A., Kar A., Pramanik S. // 4th International Conference on Electronics Computer Technology. January 2012. P. 585–589.
5. Delon J., Desolneux A., Lisani J. et. al // IEEE Transactions on Image Processing. 2007. Vol. 16, № 1. P. 253–261.
6. Raju P.D.R., Neelima G. // IJCSET. 2012. Vol. 2, № 1. P. 776–779.
7. Альмияхи О.М., Цветков В.Ю., Макейчик Е.Г. // Докл. БГУИР. 2015. № 6 (92). P. 48–54.