

УДК 621.391

СЕГМЕНТАЦИЯ И КОМПАКТНОЕ МНОГОМАСШТАБНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГРЕССИВНОЙ ОБРАТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

О.М. АЛЬМИЯХИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ, Е.Г. МАКЕЙЧИК

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

Поступила в редакцию 30 июня 2015

Разработан метод сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации. Метод обеспечивает точную сегментацию, многомасштабное представление и сжатие сегментированного изображения, адаптацию к ограничению на время сегментации.

Ключевые слова: сегментация изображений, многомасштабное представление изображений, компактное представление изображений, прогрессивная обратная кластеризация.

Введение

Сегментация изображений находит широкое применение в картографировании, видеонаблюдении, распознавании и других областях. В некоторых случаях, например для совмещения изображений, требуются точная сегментация, многомасштабное представление и сжатие сегментированного изображения, адаптация к ограничению на время сегментации. Известны методы сегментации, основанные на формировании областей с использованием водораздела [1], квантования по гистограмме [2], разделении и слиянии областей с использованием квадрата-дерева [3], выращивании областей [4]. Однако данные методы не удовлетворяют указанным выше требованиям. Сегментация с использованием водораздела не обеспечивает выделение сложных по структуре областей и эффективна для узкого класса изображений, например медицинских. Сегментация на основе квантования по гистограмме не обеспечивает точное разделение областей из-за присвоения одинаковых номеров сегментам с одинаковой яркостью. Методы на основе разделения и слияния областей с использованием квадрата-дерева и на основе выращивания областей позволяют точно сегментировать изображения. Однако данные методы не обеспечивают многомасштабное представление и сжатие сегментированного изображения, адаптацию к ограничению на время сегментации. В этой связи актуальна задача разработки метода сегментации изображений, учитывающего перечисленные недостатки.

Метод сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации

Предлагается метод сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации (Progressive Backward Clustering Segmentation and Compact Representation – PBCS&CR). 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).

Алгоритм прямой кластеризации состоит из следующих шагов.

1. Формирование множества $\{A(l)\}_{(l=\overline{0,L})}$ матриц $A(l) = \|a^{(l)}(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y/2^l-1}, x=\overline{0, X/2^l-1})}$

аппроксимации и инициализация элементов матрицы $A(0)$ аппроксимации 0-го уровня в соответствии с выражением $a^{(0)}(y, x) \leftarrow p(y, x)$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$, где \leftarrow – операция присваивания; $p(y, x)$ – пиксель сегментируемого изображения $P = \|p(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$; $Y = 2^{f_Y}$, $X = 2^{f_X}$ – размеры сегментируемого изображения P ; $f_Y > 0$, $f_X > 0$ – целые; $l = \overline{0, L}$ – номер итерации (уровня) сегментации; $L = \min(f_Y, f_X)$ – число итераций, определяемое минимальным из значений f_Y и f_X . В результате в качестве аппроксимированного образа $A(0)$ используется сегментируемое изображение P .

2. Формирование множества $\{C(l)\}_{(l=\overline{0,L})}$ матриц $C(l) = \|c^{(l)}(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y/2^l-1}, x=\overline{0, X/2^l-1})}$

кластеризации и инициализация элементов матрицы $C(0)$ кластеризации 0-го уровня в соответствии с выражением $c^{(0)}(y, x) \leftarrow 0$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$. В результате матрица $C(0)$ кластеризации нулевого уровня определяется нулевой.

3. Инициализация счетчика l циклов согласно выражению $l \leftarrow 1$.

4. Начало цикла кластеризации. Формирование матрицы $C(l)$ кластеризации l -го уровня, элементы которой вычисляются с помощью выражений

$$\forall (j = \overline{0, 1}) \forall (i = \overline{0, 1}) \left(a^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = a^{(l)}(y, x) \right) \wedge \left(c^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = 0 \right) \rightarrow \left(c^{(l)}(y, x) \leftarrow 0 \right),$$

$$\exists (j = \overline{0, 1}) \exists (i = \overline{0, 1}) \left(a^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) \neq a^{(l)}(y, x) \right) \vee \left(c^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = 1 \right) \rightarrow \left(c^{(l)}(y, x) \leftarrow 1 \right)$$

при $y = \overline{0, Y/2^l - 1}$, $x = \overline{0, X/2^l - 1}$,

где $a^{(l)}(y, x) = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 a^{(l-1)}(2y + j, 2x + i)$ – среднее арифметическое элементов кластера с координатами $(2y, 2x)$ в матрице $A(l-1)$ аппроксимации нижнего $(l-1)$ -го уровня.

5. Приращение счетчика циклов согласно выражению $l \leftarrow l + 1$.

6. Окончание цикла кластеризации. Проверка условия $l \leq L$. Если оно выполняется – переход на шаг 4, иначе – выход из цикла и завершение алгоритма.

Алгоритм прогрессивной обратной кластеризации состоит из следующих шагов.

1. Формирование множества $\{S(l)\}_{(l=\overline{0,L})}$ матриц $S(l) = \|s^{(l)}(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y/2^l-1}, x=\overline{0, X/2^l-1})}$

сегментации и множества $\{E(l)\}_{(l=\overline{0,L})}$ матриц $E(l) = \|e^{(l)}(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y/2^l-1}, x=\overline{0, X/2^l-1})}$ границ однородных областей. Инициализация элементов матриц $S(l)$ сегментации и $E(l)$ границ однородных областей уровней $\overline{0, L}$ в соответствии с выражениями $s^{(l)}(y, x) \leftarrow 0$ и $e^{(l)}(y, x) \leftarrow 1$ при $l = \overline{0, L}$, $y = \overline{0, Y/2^l - 1}$, $x = \overline{0, X/2^l - 1}$. В результате выполнения данного шага матрицы $S(l)$ сегментации и $E(l)$ границ однородных областей уровней $\overline{0, L}$ определяются нулевой и единичной соответственно.

2. Инициализация счетчика N_A однородных областей согласно выражению $N_A \leftarrow 1$.

3. Инициализация матриц $S(L) = \|s^{(L)}(y, x)\|_{(y=0, x=0)}$ сегментации и $E(L) = \|e^{(L)}(y, x)\|_{(y=0, x=0)}$

границ однородных областей L -го уровня, значения единственных элементов которых (вершин деревьев) вычисляются с помощью выражений

$$\left(c^{(L)}(0, 0) = 0 \right) \rightarrow \left(s^{(L)}(0, 0) \leftarrow N_A, N_A \leftarrow N_A + 1 \right). \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что для однородного изображения $s^{(L)}(0,0)=1$, а для неоднородного $s^{(L)}(0,0)=0$. Для обоих вариантов $e^{(L)}(0,0)=1$.

4. Инициализация счетчика l циклов согласно выражению $l=L$.

5. Начало цикла прогрессивной сегментации. Формирование значений элементов матрицы $S(l-1)$ сегментации $(l-1)$ -го уровня с помощью выражения (масштабирование областей)

$$(c^{(l)}(y,x)=0) \rightarrow (s^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) \leftarrow s^{(l)}(y,x))$$

при $y = \overline{0, Y/2^l - 1}, x = \overline{0, X/2^l - 1}, j = \overline{0, 1}, i = \overline{0, 1}$.

В результате формируется $(l-1)$ -й уровень для кластерных нуль-деревьев.

Возможны четыре комбинации соответствующих значений матрицы кластеризации на l -м и $(l-1)$ -м уровнях. Для каждой из них предполагается следующая обработка на $(l-1)$ -м уровне: $(0,0)$ – масштабирование области (кластер $(l-1)$ -го уровня наследует номер сегмента соответствующего элемента l -го уровня); $(1,0)$ – формирование нового сегмента (элемент $(l-1)$ -го уровня получает новый номер сегмента) или присоединение к существующему соседнему сегменту (элемент $(l-1)$ -го уровня получает номер соседнего элемента $(l-1)$ -го уровня); $(1,1)$ – не обрабатывается; $(0,1)$ – невозможная комбинация.

6. Формирование новых областей (разделение областей) согласно выражению

$$\begin{aligned} & (c^{(l)}(y,x)=1) \wedge (c^{(l-1)}(2y+j, 2x+i)=0) \wedge \\ & \wedge \neg \exists (k \in [-1,1]) \neg \exists (m \in [-1,1]) \left(a^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = a^{(l-1)}(2y+j+k, 2x+i+m) \wedge \right. \\ & \left. \wedge s^{(l-1)}(2y+j+k, 2x+i+m) \neq 0 \right) \rightarrow \\ & \rightarrow (s^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) \leftarrow N_A, N_A \leftarrow N_A + 1) \end{aligned}$$

при $y = \overline{0, Y/2^l - 1}, x = \overline{0, X/2^l - 1}, j = \overline{0, 1}, i = \overline{0, 1}, k = \overline{-1, 1}, m = \overline{-1, 1}, |k| + |m| \neq 0$.

7. Нарастивание областей путем их присоединения к существующим однородным областям согласно выражению

$$\begin{aligned} & (c^{(l)}(y,x)=1) \wedge (c^{(l-1)}(2y+j, 2x+i)=0) \wedge (s^{(l-1)}(2y+j, 2x+i)=0) \wedge \\ & \wedge \exists (k \in [-1,1]) \exists (l \in [-1,1]) \left(a^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = a^{(l-1)}(2y+j+k, 2x+i+m) \wedge \right. \\ & \left. \wedge s^{(l-1)}(2y+j+k, 2x+i+m) \neq 0 \right) \rightarrow \\ & \rightarrow (s^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) \leftarrow s^{(l-1)}(2y+j+k, 2x+i+m)) \end{aligned}$$

при $y = \overline{0, Y/2^l - 1}, x = \overline{0, X/2^l - 1}, j = \overline{0, 1}, i = \overline{0, 1}, k = \overline{-1, 1}, m = \overline{-1, 1}, |k| + |m| \neq 0$.

8. Пространственно-ориентированный поиск правых и нижних границ однородных областей на уровне l в соответствии с выражением

$$(c^{(l)}(y,x)=1) \wedge (c^{(l-1)}(2y+j, 2x+i)=0) \rightarrow (e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) \leftarrow 4), \quad (2)$$

$$(e^{(l)}(y,x)=4) \rightarrow \left(\begin{array}{l} e^{(l-1)}(2y, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \leftarrow 11, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \leftarrow 22, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \leftarrow 3 \end{array} \right), \quad (3)$$

$$(e^{(l)}(y,x)=0) \rightarrow \left(\begin{array}{l} e^{(l-1)}(2y, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \leftarrow 0, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \leftarrow 0 \end{array} \right), \quad (4)$$

$$(e^{(l)}(y,x)=11) \rightarrow \left(\begin{array}{l} e^{(l-1)}(2y, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \leftarrow 11, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \leftarrow 11 \end{array} \right), \quad (5)$$

$$(e^{(l)}(y,x)=22) \rightarrow \left(\begin{array}{l} e^{(l-1)}(2y, 2x) \leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \leftarrow 0, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \leftarrow 22, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \leftarrow 21 \end{array} \right), \quad (6)$$

$$(e^{(l)}(y, x) = 21) \rightarrow \begin{cases} e^{(l-1)}(2y, 2x) \Leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \Leftarrow 0, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \Leftarrow 21, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \Leftarrow 21 \end{cases}, \quad (7)$$

$$(e^{(l)}(y, x) = 3) \rightarrow \begin{cases} e^{(l-1)}(2y, 2x) \Leftarrow 0, e^{(l-1)}(2y, 2x+1) \Leftarrow 11, \\ e^{(l-1)}(2y+1, 2x) \Leftarrow 21, e^{(l-1)}(2y+1, 2x+1) \Leftarrow 3 \end{cases}. \quad (8)$$

Выражения (2)–(8) описывают процедуру пространственно-ориентированного поиска границ однородных областей. Комбинации значений $\{c^{(l)}(y, x) = 0, c^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = 1\}$ и $\{e^{(l)}(y, x) = 0, e^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = 1\}$ согласно выражениям (2) – (8) представлены на рис. 1.

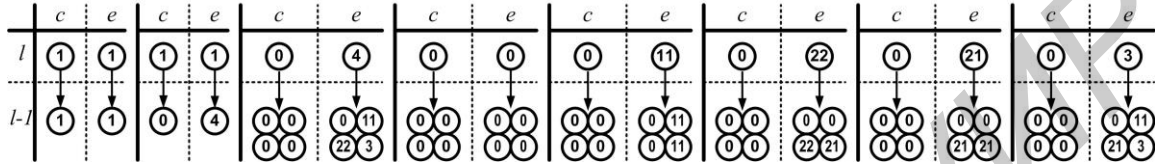


Рис. 1. Комбинации значений элементов матриц кластеризации и выделения границ областей

9. Инициализация матриц $N_B = \|n_B(p, q)\|_{(p=0, N_A-1, q=0, M_A-1)}$ номеров и количества $V_B = \|v_B(p)\|_{(p=0, N_A-1)}$ смежных одинаковых областей согласно выражениям $n_B(p, q) \Leftarrow 0$, $v_B(p) \Leftarrow 0$ при $p = 0, N_A - 1, q = 0, M_A - 1$, где M_A – максимальное число смежных одинаковых областей.

10. Слияние однородных областей согласно выражению

$$\begin{aligned} & \left((e^{(l)}(y, x) = 1) \vee (e^{(l)}(y, x) > 1) \wedge (e^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) > 0) \right) \wedge \\ & \left(\begin{array}{l} a^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = a^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m) \wedge \\ \wedge s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m) \neq 0 \wedge \\ \wedge s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m) \neq s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) \wedge \\ \wedge \neg \exists (q \in [0, v_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i))]) n_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i), q) = \\ = s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m) \end{array} \right) \rightarrow \\ & \rightarrow \left(\begin{array}{l} n_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i), v_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i))) \Leftarrow s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m), \\ v_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i)) \Leftarrow v_B(s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i)) + 1, \\ n_B(s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m), v_B(s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m))) \Leftarrow s^{(l-1)}(2y + j, 2x + i), \\ v_B(s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m)) \Leftarrow v_B(s^{(l-1)}(2y + j + k, 2x + i + m)) + 1 \end{array} \right) \\ & \text{при } y = 0, Y/2^l - 1, x = 0, X/2^l - 1, j = \overline{0, 1}, i = \overline{0, 1}, k = \begin{cases} \overline{0, 1} \text{ при } e^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = \{1, 3, 4\}, \\ 0 \text{ при } e^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = 11, \\ 1 \text{ при } e^{(l-1)}(2y + j, 2x + i) = \{21, 22\} \end{cases}, \end{aligned}$$

$$m = \begin{cases} \overline{-1,1} & \text{при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = \{1,4\}, \\ \overline{-1,0} & \text{при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = 22, \\ 0 & \text{при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = 21, \\ \overline{0,1} & \text{при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = 3, \\ 1 & \text{при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = 11, \end{cases}$$

$$k + m \neq -1 \text{ при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = \{1,4\}, |k| + |m| \neq 0 \text{ при } e^{(l-1)}(2y+j, 2x+i) = \{1,3,4\}.$$

Ограничения, накладываемые на индексы k и m , обеспечивают конфигурации пространства поиска значимых элементов в матрице и $S(l-1)$, представленные на рис. 2.

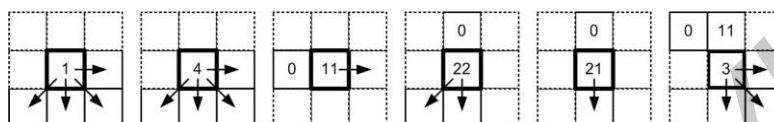


Рис. 2. Конфигурации пространства поиска значимых элементов в матрице $S(l-1)$

11. Уменьшение счетчика циклов согласно выражению $l \Leftarrow l-1$.

12. Окончание цикла прогрессивной сегментации. Проверка условия $l > 0$. Если оно выполняется – переход на шаг 5, иначе – выход из цикла и завершение алгоритма.

В результате уточнения границ сегментов формируется результирующая матрица сегментации, размер которой совпадает с размером исходного изображения или кратен ему. Каждый элемент результирующей матрицы – некоторый пиксель изображения или его кратномасштабного представления, который имеет в качестве значения номер соответствующего сегмента.

Основными шагами алгоритма уточнения границ сегментов являются следующие.

1. Формирование номеров изолированных однородных областей согласно выражению

$$\exists(p \in [0, N_A]) (v_B(p) = 0) \rightarrow ((n_X(N_S, 0) \Leftarrow p), (n_C(p) \Leftarrow N_S), (N_S \Leftarrow N_S + 1))$$

при $p = \overline{0, N_A - 1}$,

где $N_X = \|n_X(p, q)\|_{(p=\overline{0, N_A-1}, q=\overline{0, M_A-1})}$ – матрица номеров объединяемых областей;

$N_C = \|n_C(p)\|_{(p=\overline{0, N_A-1})}$ – матрица замены номеров объединяемых областей; N_S – счетчик номеров сегментов (при инициализации $N_S \Leftarrow 0$).

2. Определение номера первой объединяемой области согласно выражению

$$(n_X(N_S, 0) \Leftarrow p), (v_X(N_S) \Leftarrow 1), (n_C(p) \Leftarrow N_S),$$

где $V_X = \|v_X(p)\|_{(p=\overline{0, N_A-1})}$ – матрица количества объединяемых областей.

3. Обработка стека согласно выражениям

$$\begin{aligned} & \neg \exists(t \in [0, v_X(N_S) - 1]) (n_X(N_S, t) = n_B(n_X(N_S, s), q)) \rightarrow \\ & \rightarrow \left(\begin{aligned} & n_X(N_S, v_X(N_S) + 1) \Leftarrow n_B(n_X(N_S, s), q), (v_X(N_S) \Leftarrow v_X(N_S) + 1), \\ & n_C(n_B(n_X(N_S, s), q)) \Leftarrow N_S \end{aligned} \right) \end{aligned}$$

при $q = \overline{0, v_B(n_X(N_S, s)) - 1}$,

$$v_B(n_X(N_S, s)) \Leftarrow 0$$

где s – указатель стека связанных номеров областей (при инициализации $s \Leftarrow 0$).

4. Формирование результирующей матрицы $S_R = \|s_R(y, x)\|_{(y=\overline{0, Y-1}, x=\overline{0, X-1})}$ сегментации в результате переопределения номеров однородных областей согласно выражению $s_R(y, x) \Leftarrow n_C(s^{(0)}(y, x))$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Оценка эффективности методов сегментации изображений

Предложенный 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 (рис. 3). В отличие от метода RG метод 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. 4) [5].

Компактность многомасштабного представления сегментированного изображения зависит от результатов квантования исходного изображения. С увеличением шага квантования (и увеличением ошибки квантования) коэффициент сжатия сегментированных изображений возрастает. На рис. 5 представлены зависимости коэффициента сжатия от среднеквадратической ошибки квантования для ряда стандартных тестовых изображений. Из рис. 5 следует, что метод PBCS&CR обеспечивает сжатие сегментированного изображения до 4,5 раз в зависимости от изображения по сравнению с методом RG.

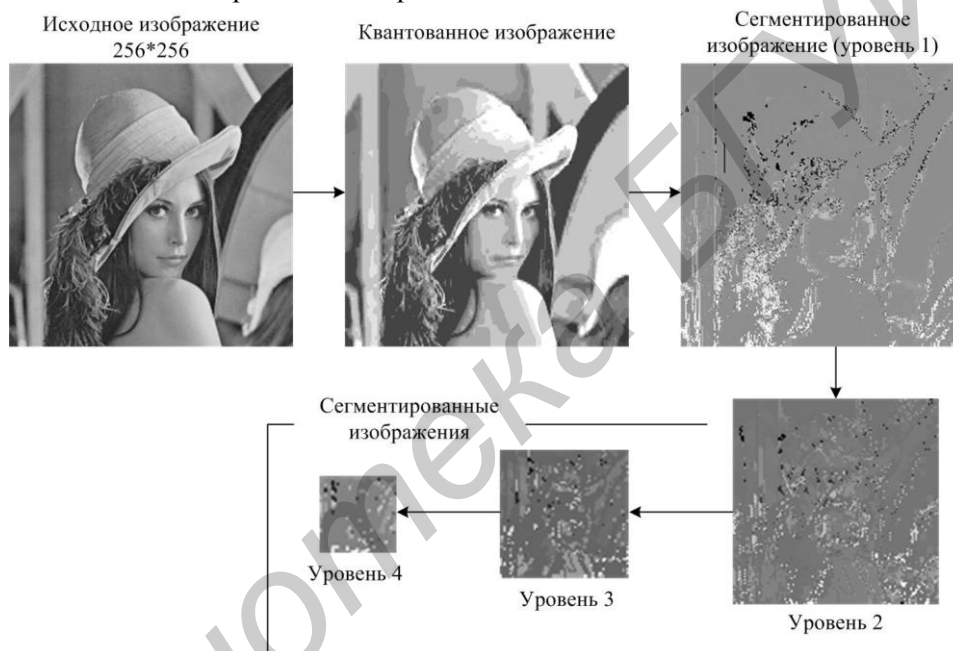


Рис. 3. Многомасштабное представление сегментированного изображения

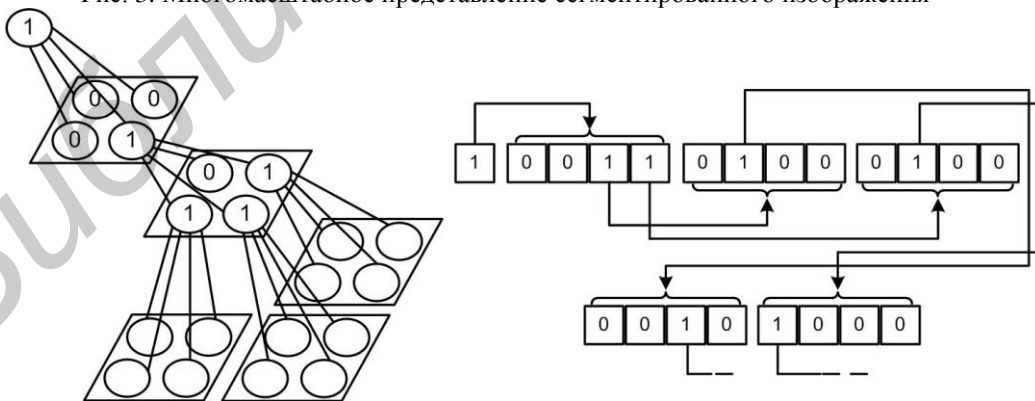


Рис. 4. Формирование вложенного кода

Сжатие сегментированных изображений в методе PBCS&CR достигается за счет увеличения вычислительной сложности, что приводит к снижению скорости сегментации. В таблице 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). С использованием результатов

анализа параметров, представленных в таблице установлено, что метод PBCS&CR уступает в скорости сегментации методу RG до 230 раз.

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

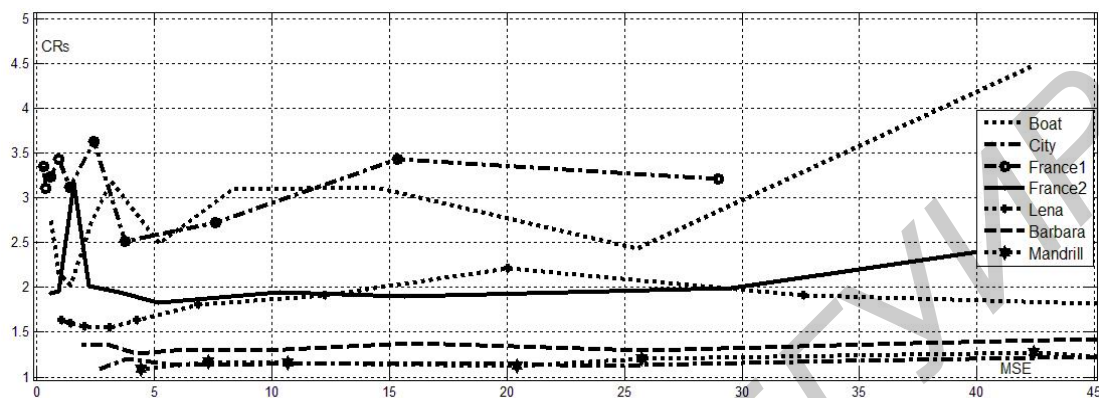


Рис. 5. Зависимость коэффициента сжатия сегментированных изображений от среднеквадратической ошибки квантования исходных изображений

Заключение

Предложен метод сегментации и компактного многомасштабного представления изображений на основе прогрессивной обратной кластеризации. Метод отличается от метода разделения и слияния областей на основе квадрата-дерева наличием трех этапов обработки, в процессе которых осуществляются древовидная кластеризация однородных по яркости областей пикселей и формирование множества кратномасштабных кластерных образов исходного изображения (прямая кластеризация), присвоение номеров кластеризованным однородным областям на всех уровнях кратномасштабного представления исходного изображения и поиск избыточных границ однородных областей (прогрессивная обратная кластеризация); объединение соседних однородных по яркости кластеризованных областей (уточнение границ сегментов), что обеспечивает сжатие сегментированного изображения до 4,5 раз в отличие от метода выращивания областей.

SEGMENTATION AND COMPACT MULTISCALE REPRESENTATION OF THE IMAGES BASED ON PROGRESSIVE BACKWARD CLUSTERING

O.M. ALMIAHI, V.Yu. TSVIATKOU, E.G. MAKEICHIK

Abstract

Developing a method of segmentation and compact multiscale representation of images based on the progressive backward clustering. The method provides an accurate segmentation, multiscale representation and compression of the segmented images, adaptation to a limitation on the time of segmentation.

Список литературы

1. Lalitha M., Kiruthiga M., Loganathan C. // International Journal of Science and Research (IJSR). 2013. Vol. 2, № 2. P. 348–358.
2. Chang J.H., Fan K.Ch., Chang Y.L. // Image and Vision Computing. 2002. Vol. 20. P. 203–216.
3. Muhsin Z.F. // The Imaging Science Journal. 2014. Vol. 62, № 1. P. 56–62.
4. Singh K.K., Singh A. // International Journal of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7, № 5. P. 414–417.
5. Борискевич А.А., Цветков В.Ю. // Докл. НАН Беларуси. 2009. Т. 53. № 3. С. 38–48.