

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ В ИЗОБРАЖЕНИИ НА ОСНОВЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ

Медведева Е. В., к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронных средств Вятского государственного университета, EMedv@mail.ru

Ключевые слова: количество информации, контур, изображение, коррекция, точечная помеха, метод выделения.

Введение

Для распознавания объекта на изображении надо искать набор частей изображений, которые соответствуют частям объекта и удовлетворяют соответствующим ограничениям. Один из возможных методов определения частей объектов основан на выделении контуров или границ на изображении [1,2], поскольку по контурам можно определить размер, форму, положение объекта, сравнить данные с последующими или предыдущими изменениями и т.д. Кроме того, так как изображение в виде контуров не содержит полутонов и мелких деталей, то при сжатии известными алгоритмами компрессии для хранения и передачи требуется меньший объем бит, чем для цифрового полутонового изображения (ЦПИ).

В данной работе предложен метод выделения контуров в ЦПИ, представленных g -разрядными двоичными числами, основанный на вычислении величины количества информации в элементах двоичного изображения и имеющий низкую вычислительную сложность.

Метод выделения контуров

Для вычисления количества информации в элементах изображения в качестве математической модели ЦПИ выбрано одностороннее марковское случайное поле (ОМСП), называемое также двумерной марковской цепью на несимметричной полуплоскости [3,4].

Представление ЦПИ набором из g -разрядных двоичных изображений (РДИ) позволяет свести задачу построения математической модели ЦПИ к построению математической модели g -РДИ, каждое из которых представляет собой однородную двумерную цепь Маркова с двумя равновероятными ($p_1^{(i)} = p_2^{(i)}$) значениями $M_1^{(i)}$ и $M_2^{(i)}$.

Будем считать, что l -е РДИ ($l = \overline{1, g}$) представляет собой случайное марковское поле с разделимой автокорреляционной функцией вида [3]

$$r_{i,j} = \sigma_\mu^2 \exp\{-\alpha_1 |f| - \alpha_2 |s|\}, \quad (1)$$

где i, j – дискретные пространственные координаты (по горизонтали и вертикали); σ_μ^2 – дисперсия двумерного дискретнозначного марковского процесса; α_1, α_2 – множители, зависящие от ширины спектральной плотности мощности случайных процессов по двум измерениям; f, s – шаг корреляции по горизонтали и вертикали.

В этом случае РДИ можно представить как суперпозицию двух одномерных цепей Маркова по горизонтали и вертикали с двумя равновероятными значениями $M_1^{(i)}$, $M_2^{(i)}$ и матрицами вероятностей переходов от значения $M_i^{(i)}$ к соседнему значению $M_j^{(i)}$ по горизонтали и верти-

Предложен метод выделения контуров в цифровых полутоновых изображениях, представленных g -разрядными двоичными числами, основанный на вычислении количества информации в элементах двоичного изображения. Для коррекции контура изображения предложен метод удаления ложных контуров – точечных помех. Приведены результаты моделирования.

кали изображения, соответственно:

$${}^1\Pi^{(l)} = \begin{vmatrix} {}^1\pi_{11}^{(l)} & {}^1\pi_{12}^{(l)} \\ {}^1\pi_{21}^{(l)} & {}^1\pi_{22}^{(l)} \end{vmatrix}, \quad {}^2\Pi^{(l)} = \begin{vmatrix} {}^2\pi_{11}^{(l)} & {}^2\pi_{12}^{(l)} \\ {}^2\pi_{21}^{(l)} & {}^2\pi_{22}^{(l)} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлено ОМСП ЦПИ, разделенное на области $F_i^{(l)}$ ($i = \overline{1, 4}$), элементы которых являются цепями Маркова различной размерности. Вычисление количества информации в элементах изображения областей $F_1^{(l)}$, $F_2^{(l)}$ и $F_3^{(l)}$ хорошо известно [3,4]. Наибольшую сложность представляет алгоритм вычисления количества информации элементов области $F_4^{(l)}$, так как элемент $\mu_{i,j}^{(l)}$ области $F_4^{(l)}$ зависит от трех соседних элементов, входящих в окрестность $\Lambda_{i,j}^{(l)} = \{\mu_{i,j-1}^{(l)}, \mu_{i-1,j}^{(l)}, \mu_{i-1,j-1}^{(l)}\}$.

На рис. 2 приведен фрагмент двумерного бинарного изображения, соответствующего области $F_4^{(l)}$ ОМСП (рис. 1).

Для вычисления количества информации в элементе $\nu_4^{(l)}$ относительно элементов $\nu_1^{(l)}, \nu_2^{(l)}, \nu_3^{(l)}$ l -го РДИ (рис.2) в работах [3,4] получено выражение вида:

$$I\left(\nu_4^{(l)} \mid \nu_3^{(l)}, \nu_2^{(l)}, \nu_1^{(l)}\right) = -\log \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}}, \quad (3)$$

где ${}^3\pi_{ii}^{(l)}$; $i, j = \overline{1, 2}; i \neq j$ элементы матрицы ${}^3\Pi = {}^1\Pi \cdot {}^2\Pi = \begin{vmatrix} {}^3\pi_{ii}^{(l)} \\ {}^3\pi_{ij}^{(l)} \end{vmatrix}$.

Для элементов $l^{2 \times 2}$ -го РДИ, принадлежащих области $F_4^{(l)}$ (рис.1), количество информации между элементом $\nu_4^{(l)}$ и различными сочетаниями значений элементов окрестности $\Lambda_{ij}^{(l)}$ можно определить по матрице Π (4):

$$\Pi = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha'_1 \\ \alpha_2 & \alpha'_2 \\ \alpha_3 & \alpha'_3 \\ \alpha_4 & \alpha'_4 \\ \beta_1 & \beta'_1 \\ \beta_2 & \beta'_2 \\ \beta_3 & \beta'_3 \\ \beta_4 & \beta'_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} & \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} & \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \\ \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} & \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \\ \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} & \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} & \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \end{vmatrix}, \quad \begin{matrix} \nu_1\nu_2\nu_3 \rightarrow \nu_4 \\ 000 \rightarrow 0 \\ \vdots \\ 111 \rightarrow 0 \\ 111 \rightarrow 1 \\ \vdots \\ 000 \rightarrow 1 \end{matrix} \quad (4)$$

где $\alpha'_i = 1 - \alpha_i$, $\alpha_i = \beta_i$ ($i = \overline{1, 4}$), $\alpha_4 = \alpha'_1$ и $\beta_4 = \beta'_1$.

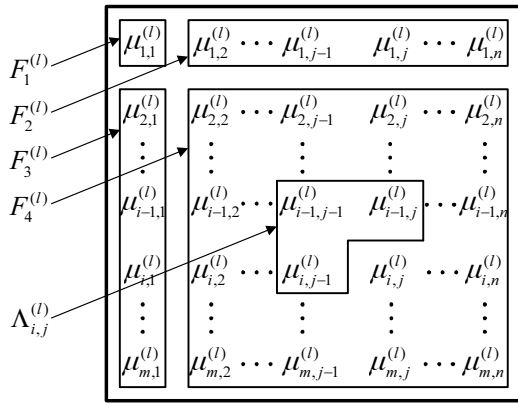
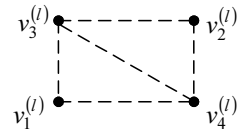


Рис. 1. Области ОМСП с окрестностью из трех элементов



$$\begin{aligned} v_1^{(l)} &= \mu_{i,j-1}^{(l)}; \\ v_2^{(l)} &= \mu_{i-1,j}^{(l)}; \\ v_3^{(l)} &= \mu_{i-1,j-1}^{(l)}; \\ v_4^{(l)} &= \mu_{i,j}^{(l)}. \end{aligned}$$

Рис. 2. Фрагмент двумерного бинарного изображения



Рис.3. Усредненное распределение вероятностей переходов (8 – старший разряд; 1 – младший разряд)

Для вычисления количества информации в элементах двоичного изображения необходимо знать элементы матриц вероятностей переходов по горизонтали и вертикали (2). На рис. 3 приведено усредненное распределение элементов матриц вероятностей переходов в g РДИ на основе большого числа выборов реальных изображений.

Очевидно, что количество информации в элементе РДИ будет минимально, если окрестные элементы V_1, V_2 имеют знаки одинаковые с V_4 [4,5].

В случае появления на РДИ областей другой яркости, на границе области один или два окрестных элемента будут иметь разные с V_4 знаки, и количество информации в элементе V_4 увеличивается. Сравнивая значения вычисленной величины количества информации в элементе изображения с порогом, определяем, будет ли данная точка являться точкой контура.

Значение порога H вычисляют для каждого РДИ с учетом вычисленного минимального количества информации и количества информации, когда хотя бы один из элементов окрестности будет иметь другие знаки:

$$I(v_4 = M_1 | v_1 = M_1; v_2 = M_1) < H < I(v_4 = M_1 | v_1 = M_1; v_2 = M_2). \quad (5)$$

Например, для старшего (восьмого) РДИ при ${}^1\pi_{ii}^{(l)} = {}^2\pi_{ii}^{(l)} = 0,95$, если окрестные элементы V_1 и V_2 имеют знаки одинаковые с V_4 , то количество информации в элементе изображения будет минимально:

$$I(v_4 | v_1, v_2) = -\log \left(\frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)}} \right) = -\log \left(\frac{0,95^2}{0,905} \right) = 0,004 \text{ бит.}$$

При появлении границы на изображении, в случае, если только один из окрестных элементов совпадает по знаку с элементом V_4 , то количество информации в элементе изображения равно:

$$I(v_4 | v_1, v_2) = -\log \left(\frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)} {}^2\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)}} \right) = -\log \left(\frac{0,95 \cdot 0,05}{0,095} \right) = 1 \text{ бит.}$$

А значение порога H определится из условия (5): $0,004 < H < 1$.

Толщина линии контура на одном РДИ будет составлять 1 элемент. Известно, что основные детали области можно выделить на старших РДИ (при $\pi_{ii} \rightarrow 1$), а младшие РДИ (при $\pi_{ii} \rightarrow 0,5$) будут составлять фон изображения в виде двумерного шума. На основе моделирования большой совокупности ЦПИ было определено, что для определения контуров изображений достаточно двух старших РДИ (8-го и 7-го).

На рис.4 приведен пример определения контуров на ЦПИ.



а)



б)

Рис. 4. Исходное ЦПИ (а) и изображение с выделенными контурами (б)

Метод удаления ложных контуров

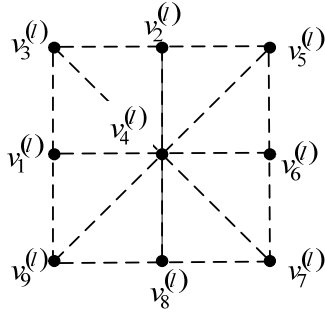


Рис. 5. Фрагмент двумерного бинарного изображения

В результате выделения контуров появляются ложные контура – точечные помехи. С целью улучшения контура сначала необходимо осуществить коррекцию изображения – удалить точечные помехи, а затем выделить контуры контрастных областей. Для удаления точечных помех предлагается вычислить количество информации в элементе v_4 относительно элементов окрестности

$$\Lambda_{ij}^* = \{v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_3^{(l)}, v_5^{(l)}, v_6^{(l)}, v_7^{(l)}, v_8^{(l)}, v_9^{(l)}\} \text{ (рис. 5).}$$

По аналогии с выражением (3), получена формула для вычисления количества информации в элементе v_4 относительно элементов окрестности Λ_{ij}^* .

$$I(v_4^{(l)} | v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_6^{(l)}, v_8^{(l)}) = -\log \left(\frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ii}^{(l)6} {}^6\pi_{ii}^{(l)8} {}^8\pi_{ii}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ii}^{(l)}} \right), \quad (6)$$

где ${}^q\pi_{ij}^{(l)}$ ($i, j = 1, 2; i \neq j; q = \overline{1, 10}$) – элементы матриц вероятностей переходов ${}^1\Pi$, ${}^6\Pi$ – по горизонтали; ${}^2\Pi$, ${}^8\Pi$ – по вертикали;

$${}^3\Pi^{(l)} = {}^1\Pi^{(l)} \cdot {}^2\Pi^{(l)}; \quad {}^5\Pi = {}^2\Pi \cdot {}^6\Pi; \quad {}^7\Pi = {}^6\Pi \cdot {}^8\Pi;$$

$${}^9\Pi = {}^1\Pi \cdot {}^8\Pi;$$

$${}^{10}\Pi = {}^1\Pi \cdot {}^2\Pi \cdot {}^6\Pi \cdot {}^8\Pi = {}^3\Pi \cdot {}^7\Pi = {}^5\Pi \cdot {}^9\Pi.$$

Для элементов l -го РДИ количество информации между элементом $v_4^{(l)}$ и различными сочетаниями значений элементов окрестности Λ_{ij}^* можно определить по матрице Π^* :

$$\Pi^* = \begin{pmatrix} \alpha_1^* & \alpha_1'^* \\ \alpha_2^* & \alpha_2'^* \\ \vdots & \vdots \\ \alpha_{16}^* & \alpha_{16}'^* \\ \beta_1^* & \beta_1'^* \\ \beta_2^* & \beta_2'^* \\ \vdots & \vdots \\ \beta_{16}^* & \beta_{16}'^* \end{pmatrix} \begin{matrix} v_1 v_2 v_6 v_8 \rightarrow v_4 \\ 0000 \rightarrow 0 \\ 0001 \rightarrow 0 \\ \vdots \\ 1111 \rightarrow 0 \\ 1111 \rightarrow 1 \\ 1110 \rightarrow 1 \\ \vdots \\ 0000 \rightarrow 1 \end{matrix} \quad (7)$$

где элементы матрицы Π^* удовлетворяют условию нормировки

$$\alpha_i^* + \alpha_i'^* = 1; \quad \alpha_i^* = \beta_i^*, \quad \alpha_i'^* = \beta_i'^*; \quad i = \overline{1, 16}.$$

Элементы матрицы Π^* можно определить по формулам (8) – (13)

$$\alpha_1^* = \alpha_1'^* = \beta_1^* = \beta_1'^* \quad 1 - \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ii}^{(l)}} \quad (8)$$

$$\alpha_{16}^* = \alpha_1'^* = \beta_{16}^* = \beta_1'^*; \quad \frac{{}^1\pi_{ij}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ij}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ii}^{(l)}} \quad (9)$$

$$\alpha_2^* = \alpha_2'^* = \beta_2^* = \beta_2'^*; \quad 1 - \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \quad (10)$$

$$\alpha_3^* = \alpha_3'^* = \beta_3^* = \beta_3'^*; \quad \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \quad (11)$$

$$\alpha_4^* = \alpha_4'^* = \beta_4^* = \beta_4'^*; \quad 1 - \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ii}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ij}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \quad (12)$$

$$\alpha_5^* = \alpha_5'^* = \beta_5^* = \beta_5'^*; \quad \frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ii}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ij}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \quad (13)$$

Для удаления точечных помех (1-2 элемента другой яркости) значения вычисленной величины количества информации в элементе изображения сравнивают с порогом H .

Значение порога H определяется из условия:

$$I(v_4 = M_1 | v_1 = v_2 = M_1; v_6 = v_8 = M_2) < H < < I(v_4 = M_1 | v_1 = M_1; v_2 = v_6 = v_8 = M_2) \quad (14)$$

Если количество информации в элементе изображения будет больше порога, то значение элемента $v_4^{(l)}$ меняется на противоположное.

Например, для

$${}^1\pi_{ii}^{(l)} = {}^2\pi_{ii}^{(l)} = {}^6\pi_{ii}^{(l)} = {}^8\pi_{ii}^{(l)} = 0,95,$$

если три окрестных элемента имеют знаки противоположные $v_4^{(l)}$, то количество информации в элементе изображения будет составлять

$$I(v_4^{(l)} | v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_6^{(l)}, v_8^{(l)}) = -\log \left(\frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ij}^{(l)5} {}^5\pi_{ii}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \right) = 6,2321 \text{ бит.} \quad (15)$$

Если только два окрестных элемента имеют знаки противоположные $v_4^{(l)}$, то количество информации в элементе изображения равно:

$$I(v_4^{(l)} | v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, v_6^{(l)}, v_8^{(l)}) = -\log \left(\frac{{}^1\pi_{ii}^{(l)2} {}^2\pi_{ij}^{(l)6} {}^6\pi_{ij}^{(l)8} {}^8\pi_{ij}^{(l)10} {}^{10}\pi_{ii}^{(l)}}{{}^3\pi_{ii}^{(l)5} {}^5\pi_{ij}^{(l)7} {}^7\pi_{ii}^{(l)9} {}^9\pi_{ij}^{(l)}} \right) = 1,9842 \text{ бит.} \quad (16)$$

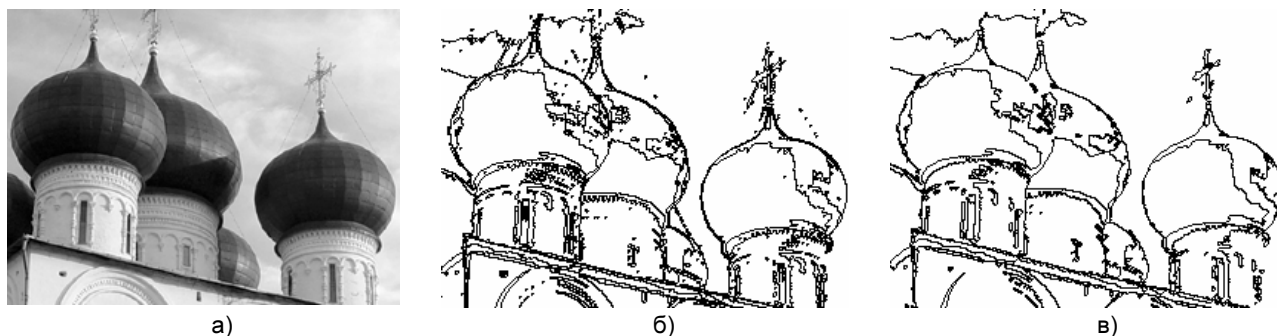


Рис. 6. Исходное ЦПИ (а); изображение с выделенными контурами без удаления (б) и с удалением (в) точечных помех

А значение порога определится из условия (14):
 $1,9842 < H < 6,2123$.

На рис.6 приведены увеличенные фрагменты изображений с выделенными контурами без удаления (б) и с удалением (в) точечных помех.

Как видно из приведенных данных, изображение на рис. 6в имеет более низкий процент ложных контуров, чем изображение на рис. 6б.

Заключение

Разработанный метод выделения контуров в цифровых полутоновых изображениях, основанный на вычислении количества информации в элементах изображения, эффективен с позиции решения поставленной задачи обработки изображений и требует небольших вычислительных затрат.

Литература

1. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А. А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Трубин И.С. Метод моделирования цифровых полутоновых изображений / И.С. Трубин, Е.В. Медведева, О.П. Булыгина - «Инфокоммуникационные технологии», Том 6, №1, 2008 – С.94-99.
4. Петров Е.П. Вычисление статистической избыточности статических изображений / Е. П. Петров, Медведева Е.В. - «Вопросы радиоэлектроники», сер. РЛТ, 2008, вып.3 – Москва, 2008. – С.76-83.
5. Фано Р. Передача информации. Статистическая теория связи / Пер. с англ. под ред. Р.Л. Добрушина. – М.: Мир, 1965. – 438 с.

METHOD OF ALLOCATION OF CONTOURS IN THE IMAGE ON THE BASIS OF CALCULATION OF AMOUNT OF INFORMATION

Medvedeva E. V.

The method of allocation of contours in digital half-tone pictures is offered. Digital half-tone pictures are submitted by g -digit binary images. The method is based on calculation of amount of information in the elements of the binary image. For correction of a contour of the image the method of removal of false contours (of dot handicaps) is offered. Results of modeling are presented.

Уважаемые авторы!

Редакция научно-технического журнала "Цифровая обработка сигналов" просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст - текстовый редактор Microsoft Word.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Название статьи на русском и английском языках.
- Рукопись статьи сопровождается:
 - краткой аннотацией на русском и английском языках;
 - номером УДК;
 - сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, телефоны, электронная почта).

2) Требования к иллюстрациям:

Векторные (схемы, графики) - желательно использование графических редакторов Adobe Illustrator или Corel DRAW.

- Растровые (фотографии, рисунки) - М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат tiff.