

УДК 681.3.01:519.67

В.Н. КРЫЛОВ, М.В. ПОЛЯКОВА

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ СЕГМЕНТА УПОРЯДОЧЕННОЙ ТЕКСТУРЫ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ОДНОРОДНЫМ ФОНОМ С ПОМОЩЬЮ ОДНОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ

*Одесский национальный политехнический университет,
1, проспект Шевченко, г. Одесса, Украина.
Тел. (0482) 28-84-53*

Анотація. Запропоновано використовувати одноканальне виявлення пачки імпульсів для визначення границь сегменту впорядкованої текстури на однорідному фоні. Підвищено швидкодію алгоритму одноканального виявлення пачки імпульсів шляхом модифікації вирішального правила.

Abstract. One channel discovery of packet of impulses for determination of bounds of segment of organized texture on a homogeneous background is proposed to use. The fast-acting of algorithm of one channel discovery of packet of impulses is enhanceable by modification of decision rule.

Аннотация. Предложено использовать одноканальное обнаружение пачки импульсов для определения границ сегмента упорядоченной текстуры на однородном фоне. Повышено быстродействие алгоритма одноканального обнаружения пачки импульсов путем модификации решающего правила.

Ключевые слова. Текстура сегментация изображений, обнаружение пачки импульсов.

ВВЕДЕНИЕ

Составной частью задач, решаемых автоматизированными системами обработки и распознавания изображений, является идентификация формы и классификация изображений объектов. Повышения быстродействия этих систем можно, в частности, достигнуть путём использования оперативных методов на одном из этапов решения задачи анализа и распознавания изображений – текстурной сегментации. Этот этап заключается в разбиении изображения на области с однородной текстурой. В данной работе рассматривается одна из задач сегментации изображений упорядоченных текстур — выделение области упорядоченной равномерной текстуры с известными параметрами на однородном фоне.

Упорядоченная текстура составлена из регулярно или почти регулярно распределенных по пространству производных элементов [1], под которыми понимаются области изображения с определенным изменением значений интенсивности. Предполагается, что изображение включает несколько областей, текстурные различия которых обусловлены изменением типа или пространственной организации производных элементов. Упорядоченные текстуры по уровню сложности целесообразно разделить на равномерные и неравномерные. Равномерные текстуры характеризуются совокупностью равноотстоящих производных элементов, идентичных по форме и ориентации. Для неравномерных текстур производные элементы в пределах текстурно однородных областей изображения могут содержать случайные изменения координат их пространственного положения, ориентации и искажения формы.

В результате анализа литературы по проблеме сегментации упорядоченных текстур выделим следующие основные этапы процедуры сегментации:

- оценка признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком;
- подчеркивание границ между однородными областями изображения;
- пороговая или корреляционно-экстремальная обработка, предназначенная для выделения потенциальных граничных точек между областями изображения;
- морфологическая обработка границ текстурных областей изображения для улучшения их качества.

Перечисленные процедуры отражают содержание двух групп методов, которые применяются для текстурной сегментации изображений. Методы первой группы [1] осуществляют переход от значений признака сегментации к значениям интенсивности изображения и включают процедуры оценки признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком; сигнально-семантического преобразования (ССП), подчеркивающего границы между однородными областями изображения; пороговой и морфологической обработки потенциальных границ однородных текстурных областей. Согласно второй группе методов текстурной сегментации изображений [2] производится оценка признака сегментации, классификация векторов признака, выделение граничных точек однородных областей и обработка границ.

Процедуры, составляющие содержание методов первой группы текстурной сегментации изображений (детекторных) позволяют достичь высокого быстродействия и просты в реализации. Однако они непохожестойчивы и дают высокую погрешность определения координат точек границ текстурных областей. Методы текстурной сегментации, использующие классификацию векторов признака, более сложные и не обладают высоким быстродействием. Эти методы непохожестойчивы и позволяют получить низкую погрешность определения координат точек границ текстурных областей. Чтобы повысить непохожестойчивость детекторных методов сегментации изображений упорядоченных текстур целесообразно использовать в составе процедуры сегментации корреляционно-экстремальную обработку на базе многоканального обнаружения пачки импульсов.

Корреляционно-экстремальная обработка обеспечивает высокую непохожестойчивость метода сегментации, однако имеет и существенные недостатки. При реализации корреляционно-экстремальной обработки имеется ограниченный набор моделей эталонных сигналов. Поэтому обработка упорядоченных текстур с изменениями типа или пространственной организации производных элементов оказывается зачастую затруднительной или требующей большого объема вычислительных затрат. Повышения быстродействия корреляционно-экстремальной обработки изображения упорядоченной текстуры для выделения текстурного сегмента на однородном фоне можно достигнуть путем перехода от многоканального обнаружения к одноканальному.

Целью работы является повышение быстродействия выделения текстурной области на изображении с однородным фоном путём разработки модифицированного корреляционно-экстремального метода сегментации упорядоченных равномерных текстур. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- на основе теории статистических решений получено решающее правило алгоритма одноканального обнаружения пачки импульсов значений интенсивности изображения на фоне белого гауссовского шума;
- сформулирован модифицированный корреляционно-экстремальный метод сегментации упорядоченных равномерных текстур изображения;
- проведены экспериментальные исследования этого метода.

СТРУКТУРНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕКСТУРНОЙ ОБЛАСТИ НА ОДНОРОДНОМ ФОНЕ

Первым этапом создания методов текстурной сегментации изображений, удовлетворяющих требованиям непохожестойчивости, является моделирование изображения. Поэтому сформулируем структурно-статистическую модель изображения текстурной области на однородном фоне.

Пусть полутоновое изображение $I(x, y)$, $x=1, \dots, N$; $y=1, \dots, M$; представлено значениями интенсивности в точках (x, y) , где x, y — пространственные координаты. Для определения математической модели текстурной области на однородном фоне предположим, что совокупность значений интенсивности m -й строки изображения $I(x, y_m)$ включает область равномерной текстуры $i(x, y_m)$. Равномерная текстура $i(x, y_m)$, состоящая из равноотстоящих производных элементов $t(x, y_m)$, определяется формулой

$$i(x, y_m) = t(x, y_m) * \sum_{l=1}^{L_m} \delta(x - l\Delta x),$$

где Δx — период следования производных элементов, L_m — их количество в текстурной области m -й строки изображения, “*” — оператор свертки, $t(x, y_m)$ — детерминированная функция пространственной координаты x , для которой существует преобразование Фурье. Так как совокупность

значений интенсивности m -й строки изображения $I(x, y_m)$ содержит текстурную область на однородном фоне, разобьем область определения $[0, N]$ строки изображения на 3 сегмента точками $a_0 = 0 < a_1 < a_2 < a_3 = N$ так, чтобы сегмент $[a_1, a_2]$ представлял текстурную область изображения. Последняя в терминах значений интенсивности m -й строки изображения определяется фрагментом текстуры $i(x, y_m): \tilde{i}(x, y_m) = S(x, y_m)i(x, y_m)$, где

$$S(x, y_m) = \begin{cases} 1, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При формировании изображений существенно влияние внутренних шумов датчиков различной физической природы, адекватной моделью которых является аддитивная гауссовская модель [3]. Тогда представим значения интенсивности m -й строки изображения текстурной области на однородном фоне в виде разбиения на последовательные непересекающиеся сегменты

$$\begin{aligned} I(x, y_m) = & \{h_1(x, y_m) = c(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_0, a_1]\} \cup \\ & \cup \{h_2(x, y_m) = \tilde{i}(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_1, a_2]\} \cup \\ & \cup \{h_3(x, y_m) = c(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_2, a_3]\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $c(x, y_m)$ — представление фона m -й строки изображения, $N(x, y_m)$ — белый гауссовский шум с нулевым средним и дисперсией σ^2 . Значение фоновой составляющей изображения изменяется, однако это изменение ограничено:

$$|c(x_1, y_m) - c(x_2, y_m)| \leq \tilde{c}_{\min},$$

где $x_1, x_2 \in \{1, \dots, N\}$, \tilde{c}_{\min} — параметр модели.

РЕШАЮЩЕЕ ПРАВИЛО АЛГОРИТМА ОДНОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ, ОПТИМАЛЬНОГО ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Пусть полный сигнал изображения представлен матрицей нулей и единиц и наблюдается на фоне полутонного аддитивного гауссовского шума. Импульсы — это колебания, существующие лишь в пределах конечного пространственного интервала [4]. При решении практических задач часто пользуются числовыми параметрами импульса, дающими упрощенное представление о его форме. Так, для импульса, близкого по форме к прямоугольнику, принято определять его амплитуду A и длительность импульса τ_u . Когда учитывается поведение исходной функции не в отдельных мало удаленных одна от другой точках, а в окрестностях этих точек, импульсы удобнее обрабатывать пачками. Для последовательности импульсов вводится понятие периода следования импульсов T_n — расстояния между соседними импульсами.

Получим решающее правило для одноканального обнаружения пачки импульсов на однородном фоне, оптимальное по критерию максимального правдоподобия. Определим модели эталонных фрагментов m -й строки изображения

$$\begin{aligned} S_{n-1}(x, y_m) = & \left\{ \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u}, \underbrace{0, \dots, 0}_{T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{(n-3)T_n}, \underbrace{0, \dots, 0}_{T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u} \right\}, \\ S_n(x, y_m) = & \left\{ \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u}, \underbrace{0, \dots, 0}_{T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{T_n} \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Сигналы $S_{n-1}(x, y_m)$, $S_n(x, y_m)$ содержат $(n-1)T_n + \tau_u$ отсчетов. Пачке из n импульсов соответствует сигнал $S_n(x, y_m)$, пачке из $n-1$ импульса — сигнал $S_{n-1}(x, y_m)$.

Пусть на входе системы имеется аддитивная смесь сигнала и шума, что соответствует текстурной области в модели (1):

$$I(x, y_m) = S_k(x, y_m) + N(x, y_m),$$

где $S_k(x, y_m)$, $k = n$ или $k = n-1$, — значения интенсивности фрагмента m -й строки незашумленного изображения, определяемые формулой (2), $N(x, y_m)$ — гауссовский белый шум с дисперсией σ^2 и нулевым средним, $x = (x_1, \dots, x_l)$, где $l = (n-1)T_n + \tau_u$ — количество пикселей во фрагменте m -й строки изображения.

Выдвигается гипотеза H_0 , что $I(x, y_m) = S_n(x, y_m) + N(x, y_m)$, против альтернативы H_1 , что $I(x, y_m) = S_{n-1}(x, y_m) + N(x, y_m)$. В качестве альтернативы выбран сигнал, соответствующий пачке из $n-1$ импульса, т. к. значение его энергии наиболее близко к энергии сигнала $S_n(x, y_m)$ по сравнению с пачками из 1, 2, ..., $n-2$ импульсов. Т.к. не имеется априорной информации о том, как часто появляется в строке изображения тот или иной сигнал, предположим, что появление сигналов $S_{n-1}(x, y_m)$, $S_n(x, y_m)$ равновероятно. Получим решающее правило, оптимальное по критерию максимального правдоподобия, позволяющее принять решение γ_1 о наличии $S_{n-1}(x, y_m)$ (принять альтернативу H_1) или решения γ_0 о наличии сигнала $S_n(x, y_m)$ (принять гипотезу H_0).

Фрагмент m -й строки изображения размера l $I(x, y_m)$ является элементом выборочного пространства, на котором задана система функций правдоподобия $P_{СП_n}(x, y_m)$, $P_{СП_{n-1}}(x, y_m)$.

Пусть на входе системы — сигнал $S_k(x, y_m)$, $k = n$ или $k = n-1$, тогда функция правдоподобия имеет вид:

$$P_{СП_k}(x, y_m) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_k(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_k(x, y_m))\right).$$

Оптимальный по критерию максимального правдоподобия алгоритм проверки простой гипотезы против простой альтернативы [5] предписывает сравнение с нулем величины

$$\begin{aligned} \ln \frac{P_{СП_n}(x, y_m)}{P_{СП_{n-1}}(x, y_m)} &= \ln \left(\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \right) - \frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_n(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_n(x, y_m)) - \\ &= (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - \frac{1}{2}(S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - (I(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) + \\ &\quad + \frac{1}{2}(S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) > 0. \end{aligned}$$

Тогда решающее правило алгоритма одноканального обнаружения пачки импульсов, оптимального по критерию максимального правдоподобия, имеет вид: принимается решение γ_0 о наличии сигнала $S_n(x, y_m)$, если

$$\begin{aligned} (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - (I(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) &> \\ > \frac{1}{2} \left((S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - (S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) \right), \end{aligned} \quad (3)$$

в противном случае принимается решение γ_1 о наличии сигнала $S_{n-1}(x, y_m)$.

Чтобы повысить помехоустойчивость алгоритма одноканального обнаружения пачки импульсов, учтем, что произведение $(I(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m)$ достигает максимального значения в случае, если $I(x, y_m) = S_{n-1}(x, y_m)$. Заменим слагаемое $(I(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m)$ в (3) на слагаемое $(S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m)$, от этого неравенство в (3) только усилится:

$$\begin{aligned} & (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - (S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) > \\ & > \frac{1}{2} \left((S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m) - (S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Принимая во внимание, что $(S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) = \frac{n-1}{n} (S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m)$, преобразуем (4) к следующему виду:

$$\begin{aligned} (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) & > \frac{1}{2} \left((S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m) + (S_{n-1}(x, y_m))^T S_{n-1}(x, y_m) \right) \\ (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) & > \frac{2n-1}{2n} (S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m). \end{aligned} \quad (5)$$

Решающее правило (5) в отличие от (3) не является оптимальным по критерию максимального правдоподобия. (5) получено из (4) путем увеличения значения порога. Проанализируем, как при этом изменились характеристики алгоритма одноканального обнаружения пачки импульсов. В теории обнаружения сигналов на фоне помех рассматриваются ошибки 2-х видов: 1-го рода — ложная тревога, когда принимается решение о наличии сигнала $S_n(x, y_m)$, а в действительности присутствует сигнал $S_{n-1}(x, y_m)$, и 2-го рода — пропуск сигнала, когда принимается решение о том, что присутствует сигнал $S_{n-1}(x, y_m)$, а в действительности присутствует сигнал $S_n(x, y_m)$.

Вероятность α ложной тревоги определяется формулой

$$P \{ (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) \geq c \mid H_1 \} = \alpha, \quad (6)$$

где c — значение порога. Очевидно, что при увеличении значения порога в (6) вероятность ложной тревоги α уменьшится. Вероятность β пропуска сигнала определяется формулой

$$P \{ (I(x, y_m))^T S_n(x, y_m) \geq c \mid H_0 \} = 1 - \beta, \quad (7)$$

Если значение c в (7) возрастает, вероятность пропуска сигнала β увеличивается, а вероятность правильного обнаружения $1 - \beta$ уменьшается.

Сравним по быстродействию алгоритм одноканального обнаружения пачки импульсов на основе решающего правила (5) с оптимальным по критерию максимального правдоподобия алгоритмом многоканального обнаружения пачки импульсов. Последний использует решающее правило вида

$$\begin{aligned} & (I(x, y_m))^T S_k(x, y_m) - \frac{1}{2} (S_k(x, y_m))^T S_k(x, y_m) = \\ & = \max_{0 \leq j \leq 2n-1} \left((I(x, y_m))^T S_j(x, y_m) - \frac{1}{2} (S_j(x, y_m))^T S_j(x, y_m) \right), k=0, \dots, 2n-1, \end{aligned}$$

и требует $2l(2n-1)$ операций умножения и сложения, а также $(2n-1)$ сравнение, в то время как алгоритм одноканального обнаружения пачки импульсов на основе решающего правила (5) реализуется с помощью $2l$ операций умножения и сложения, а также 1 сравнение. Т. о. реализация алгоритма на основе (5) позволяет снизить вычислительные затраты в $2n-1$ раз, где n — количество импульсов в пачке.

Приведённые выкладки с незначительными изменениями справедливы для детерминированного сигнала $a_0 + a_1 S_k(x, y_m), k=0, \dots, 2n-1$; в качестве эталона, где решающее правило определяется (5). Формулы для оценок a_1 и a_0 получены в [6].

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ УПОРЯДОЧЕННОЙ ТЕКСТУРЫ НА ОДНОРОДНОМ ФОНЕ

Каждая строка исходного изображения подвергается корреляционно-экстремальной обработке согласованным фильтром $S\Phi_n$ (рис. 1), который содержит эталонный фрагмент $S_n(x, y_m)$ строки

изображения. В результате этой обработки формируется статистика $(I(x, y_m))^T S_n(x, y_m)$, которая обрабатывается пороговым устройством (ПУ). Вычисление значения порога $\frac{2n-1}{2n} (S_n(x, y_m))^T S_n(x, y_m)$ осуществляется в устройстве выбора порога (УВП). Устройство выбора решения (УВР) определяет принятие решения γ_0 или γ_1 в соответствии с решающим правилом (5).

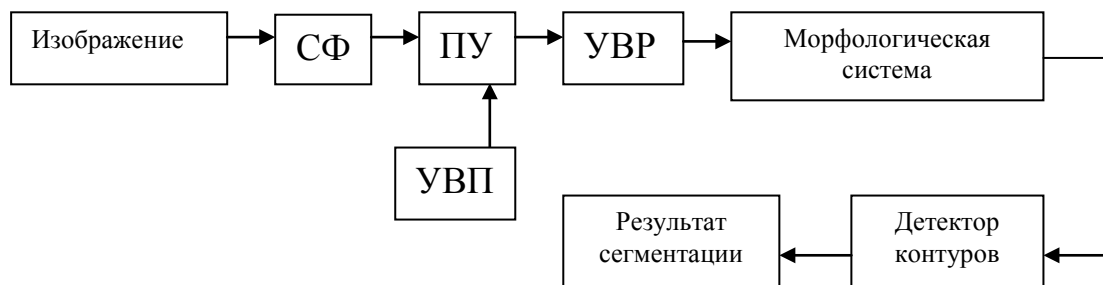


Рис. 1. Структурная схема модифицированного корреляционно-экстремального метода выделения области упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне.

Если для фрагмента строки изображения $I(x, y_m)$ принято решение γ_0 о наличии сигнала $S_n(x, y_m)$, то в результирующее бинарное изображение записывается последовательность из $T_n(n-1) + \tau_u$ единиц, где T_n — период следования импульсов, τ_u — протяженность импульса. После того, как результирующее бинарное изображение сформировано, оно содержит белую область на темном фоне, причем белая область соответствует текстурному фрагменту, темный фон — фону изображения. Бинарное изображение с выделенной областью фрагмента упорядоченной текстуры обрабатывается морфологической системой. Область, соответствующая текстурному фрагменту на бинарном изображении, содержит темные мелкие области площадью около $(T_n - \tau_u)(T_n - \tau_u)$. Для удаления этих мелких темных пятен используется метод фильтрации слитных групп или сегментация по признаку равной интенсивности [3] для каждой строки и столбца изображения, заключающийся в следующем. Выделяется последовательность пикселей темного цвета для каждой строки бинарного изображения и рассчитывается длина каждой из этих последовательностей. Если длина последовательности превышает некоторый порог (например, $T_n - \tau_u$ пикселей), соответствующие пиксели строки изображения заливаются темным цветом. Далее аналогичная корреляционно-экстремальная и морфологическая обработка проводится по столбцам изображения. Бинарные изображения, полученные в результате построчной и постолбцовой обработки, объединяются по схеме логического сложения ИЛИ. Затем производится выделение границ сегмента упорядоченной текстуры методом контурной сегментации бинарного изображения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫВОДЫ

В качестве экспериментальных исследований предложенного модифицированного корреляционно-экстремального метода определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне метода оценивалась его помехоустойчивость, погрешность определения координат точек границ текстурной области и эффективность сегментации.

При оценке помехоустойчивости предложенного метода. Вероятность выявления действительных границ сегментов можно легко вычислить, сравнивая идеально и реально сегментированные изображения по критерию Прэтта [3].

Показателем качества текстурной сегментации изображения выбран показатель близости между границами тестового идеально сегментированного изображения I^{sm} и сегментированного t -м методом обработки I^t [7]:

$$F = \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{sm})^2}, \quad (8)$$

где P – длина границ выделенных сегментов в пикселях, M, N – размеры изображения. Для оценки эффективности сегментации использовался показатель [7]

$$E = \frac{n \log_2 q}{k + 1}, \quad (9)$$

где n – количество пикселей в обрабатываемом полутоновом изображении, q – количество градаций интенсивности, k – количество значащих пикселей результата сегментации.

Получены графики зависимости значения критерия Прэтта и показателей (8), (9) от отношения сигнал/шум q по мощности (рис. 3). При их оценке использовалось тестовое изображение, состоящее из 256×256 элементов, интенсивность которого менялась в диапазоне $0 \dots 127$. В центре этого изображения находился фрагмент упорядоченной текстуры размера 56×56 пикселей из белых квадратов 8×8 пикселей на расстоянии 8 пикселей по горизонтали и вертикали друг от друга (рис. 2).

На изображение фрагмента упорядоченной текстуры был наложен независимый гауссовский шум со среднеквадратическим отклонением $\sigma_{\text{сх}}$. Аддитивная смесь сигнала и шума была ограничена по уровню соответственно диапазону интенсивностей $0 \dots 255$. Отношение сигнал/шум q по мощности определялось как $q = h^2 / \sigma_{\text{сх}}^2$, где h – разность интенсивностей производного элемента текстуры и однородного фона.

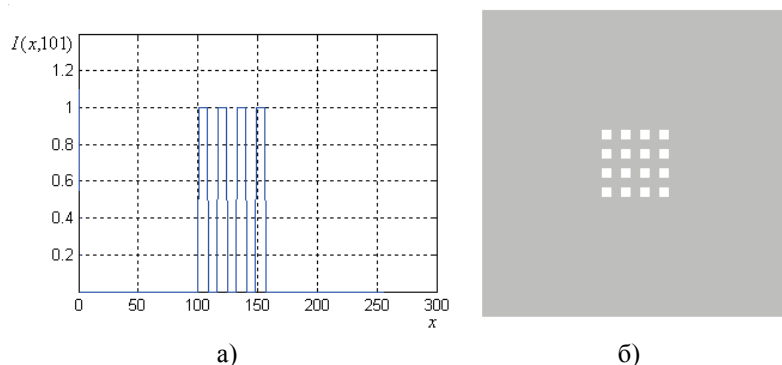


Рис. 2. Тестовое изображение (а) и его строка (б).

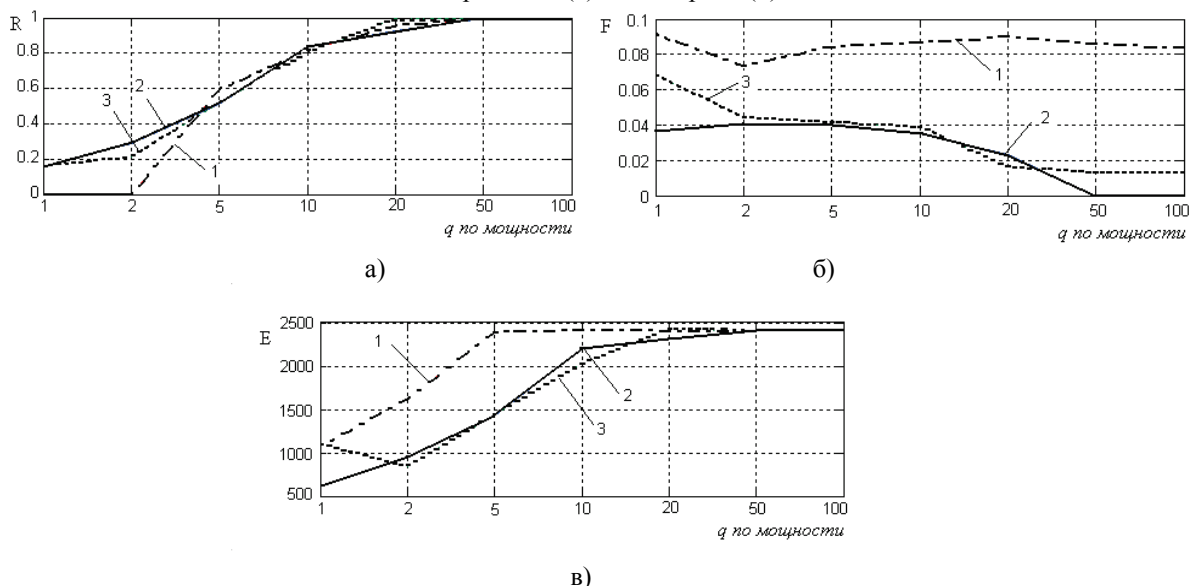


Рис. 3. Зависимость критерия Прэтта (а), показателя погрешности определения координат точек границ текстурной области (б) и эффективности сегментации (в) для метода на основе многоканального обнаружения пачки импульсов (1), метода на основе одноканального обнаружения пачки импульсов (2), последнего метода с оценкой параметров (3).

Анализируя полученные результаты, следует заметить, что предложенный модифицированный корреляционно-экстремальный метод сегментации изображений упорядоченных текстур превосходит по

помехоустойчивости корреляционно-экстремальный метод на основе многоканального обнаружения пачки импульсов до 12 раз при отношениях сигнал/шум 1 — 2 по мощности. При высоких отношениях сигнал/шум получены сходные по помехоустойчивости результаты. По эффективности предложенный метод сегментации изображений упорядоченных текстур хуже метода работы [6] в 1,1 — 1,5 раза при отношениях сигнал/шум 10 и менее по мощности. Это связано с тем, что недостатком метода работы [6] при низких отношениях сигнал/шум являются ложные границы текстурных областей, вызывающие повышение эффективности метода. Сравнительная оценка погрешности определения координат точек границ текстурных областей показала, что предложенный метод превосходит метода работы [6] в 1,8 — 10 раз. При отношениях сигнал/шум 2 и менее по мощности, возможно, целесообразно изменить морфологическую обработку предложенного метода. Как уже упоминалось, вычислительные затраты предложенного метода снижаются в $2n-1$ раз, где n — количество импульсов в пачке, по сравнению с корреляционно-экстремальным методом на основе многоканального обнаружения пачки импульсов. Т. о. предложенный модифицированный корреляционно-экстремальный метод сегментации изображений упорядоченных текстур можно рекомендовать в задаче определения границ сегмента упорядоченной текстуры с известными параметрами на однородном фоне, где требуются методы текстурной сегментации с низкой погрешностью определения координат точек границ текстурной области и высоким быстродействием.

Модифицированный корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне может использоваться для обработки аэрофотоснимков сельскохозяйственных культур. Его можно применять также при контроле качества тканей, а также при решении других задач обработки изображений упорядоченных равномерных текстур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dunn D., Higgins W.E., Wakeley J. Texture segmentation using 2D Gabor elementary function // IEEE Trans. on PAMI. — 1994. — Vol.16, № 2. — P. 130 — 149.
2. Chaudhuri B.B., Sarkar N. Texture segmentation using fractal dimension // IEEE Trans. on PAMI. — 1995. — Vol.17, № 1. — P. 72 — 77.
3. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высш. шк., 1988. — 488 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. — М.: Радио и связь, 1989. — 656 с.
6. Полякова М.В. Определение границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Межвузовский журнал. — Херсон, 2008. - № 1 (21). — В печати.
7. Абакумов В.Г., Крылов В.Н., Антошук С.Г. Повышение эффективности обработки образной информации в автоматизированных системах // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». — 2005. — Ч. 1. — С. 100 — 105.

Надійшла до редакції 02.04.2008 р.

КРЫЛОВ В.Н. — д.т.н., профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина.

ПОЛЯКОВА М.В. — к.т.н., доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина.