

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАТОРОВ ДЛЯ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕКСТУР

Грузман И.С.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Аннотация

Предложен метод построения помехоустойчивых масочных дифференцирующих фильтров, минимизирующих вероятность ошибки обнаружения локально ориентированных текстур алгоритмом на основе градиентного структурного тензора. Для решения задачи синтеза предложено использовать гауссовскую аппроксимацию распределения компонент градиентного структурного тензора. Показано, что применение оптимальных масочных дифференцирующих фильтров приводит к значительному уменьшению вероятности ошибки обнаружения.

Ключевые слова: ориентированная текстура, градиентный структурный тензор, масочный дифференцирующий фильтр, ошибка обнаружения.

Введение

Обнаружение областей с локально ориентированными текстурами является важным этапом в различных задачах анализа изображений слоистых структур земной коры [1], отпечатков пальцев [2, 3], следов от инструментов взлома [4], дефектов в виде трещин [5] и т.п. Обнаружение заключается в том, чтобы на основе анализа фрагмента изображения решить, принадлежит ли он информативной анизотропной области (локально ориентированной текстуре) или изотропному фону. При этом возможны два вида ошибок. Первый вид ошибок состоит в принятии решения о том, что анализируемый фрагмент является анизотропным, когда в действительности он является изотропным. Второй вид ошибок состоит в принятии анизотропного фрагмента за изотропный. Далее эти ошибки по аналогии с терминологией, принятой в математической статистике, будем называть ошибками первого и второго рода, обозначив соответственно α и β .

В большинстве практических случаев функция яркости локально ориентированной текстуры в пределах области малых размеров может быть аппроксимирована детерминированной полигармонической функцией, изолинии которой представляют собой параллельные прямые [3, 6, 7], проходящие под углом γ к оси абсцисс:

$$\mathbf{z} = \{z(i_1, i_2) = z(i_1 \cos \gamma + i_2 \sin \gamma); i_1 = \overline{-n, n}, i_2 = \overline{-n, n}\}, \quad (1)$$

где

$$z(i_1, i_2) = \sum_{l=1}^L A_l \cos(2\pi(\Omega_l i_1 \cos \gamma + \Omega_l i_2 \sin \gamma) + \phi_l). \quad (2)$$

В (1) и (2) частоты Ω_l образуют возрастающую последовательность $0 < \Omega_1 < \Omega_2 \dots < \Omega_L < 0,5$, начальные фазы ϕ_l и амплитуды A_l – произвольные неслучайные величины, $(2n + 1) \times (2n + 1) = N \times N$ –

размер анализируемого фрагмента, угол γ является случайной величиной. При отсутствии априорной информации о преимущественных направлениях ориентации анизотропной текстуры распределение угла γ обычно полагают равномерным на интервале

$$\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right].$$

Двумерные сигналы (1) обладают свойством локальной линейной симметрии (ЛЛС; local linear symmetry) [6]. Для их обнаружения широко применяются алгоритмы на основе градиентного структурного тензора (ГСТ) [6, 7], использующие масочные дифференцирующие фильтры (МДФ) для вычисления производных по вертикальному и горизонтальному направлениям дискретных двумерных сигналов. Поскольку цифровые изображения заданы на дискретной решётке, которая является анизотропной, то оценки ориентации имеют значительное смещение [7, 8]. Для снижения уровня систематической ошибки в [7] предложено использовать оптимизированные МДФ, аппроксимирующие идеальные дифференциаторы с высокой точностью. В [9] предложен способ построения МДФ, минимизирующих уровень систематических ошибок исходя из спектрально-корреляционных свойств локально ориентированных текстур.

Но существенно более важным для алгоритма обнаружения является синтез МДФ на основе минимизации ошибок обнаружения. В [10] получены соотношения для вычисления вероятности ошибки только первого рода на основе метода главных компонент при условии, что поля производных изотропного фона по вертикальному и горизонтальному направлениям являются статистически независимыми дискретными гауссовскими белыми шумами. В [11] вероятность ошибки первого рода вычисляется на основе анализа спектральных моментов при аналогичных условиях. Применение этих методов ограничено тем, что производные по направле-

нию даже для дискретного белого шума являются коррелированными случайными последовательностями. Кроме того, методы вычисления вероятности ошибки второго рода отсутствуют.

Целью работы является разработка метода построения оптимальных помехоустойчивых МДФ, учитывающего влияние шума наблюдения, свойства и размеры анализируемого фрагмента анизотропной текстуры на вероятности ошибок алгоритма обнаружения на основе ГСТ.

1. Алгоритм обнаружения на основе ГСТ

Обозначим через H_0 гипотезу о том, что анализируемый фрагмент λ является изотропным фоном, а через H_1 – гипотезу о том, что λ является анизотропной текстурой (1), наблюдаемой на фоне аддитивного шума:

$$H_0 : \lambda = \eta_0, \tag{3}$$

$$H_1 : \lambda = z + \eta_1, \tag{4}$$

где

$$\eta_0 = \{\eta_0(i_1, i_2), i_1 = \overline{-n, n}, i_2 = \overline{-n, n}\}$$

и

$$\eta_1 = \{\eta_0(i_1, i_2), i_1 = \overline{-n, n}, i_2 = \overline{-n, n}\}$$

– дискретные гауссовские белые шумы с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями $D_{\eta}^{(0)}$ и $D_{\eta}^{(1)}$ соответственно.

Если мера анизотропности [6,7]

$$\chi(\mathbf{J}) = \frac{\sqrt{J_1^2 + J_2^2}}{J_3} < C, \tag{5}$$

то принимается решение о том, что истинной является гипотеза H_0 , в противном случае принимается решение об истинности гипотезы H_1 , где

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 2 \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_1(f_1, f_2) G_k(f_1, f_2) \\ \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_2(f_1, f_2) G_k(f_1, f_2) + \\ + \sum_{k_1=1}^n K_2(f_1, 0) G_k(f_1, 0) \\ \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_3(f_1, f_2) G_k(f_1, f_2) \\ + \sum_{k_1=1}^n K_3(f_1, 0) G_k(f_1, 0) \end{bmatrix} \tag{6}$$

– вектор компонент ГСТ;

$$G_\lambda(f_1, f_2) = \frac{1}{N^2} |S_\lambda(f_1, f_2)|^2 \tag{7}$$

– выборочный двумерный спектр мощности фрагмента λ ;

$S_\lambda(f_1, f_2)$ – двумерный спектр этого же фрагмента, вычисленный с помощью дискретного преобразования Фурье;

$$f_i = \frac{k_i}{N}, i = \overline{1, 2} \text{ – пространственные частоты;}$$

$$K_1(f_1, f_2) = K_x(f_1, f_2) K_y^*(f_1, f_2),$$

$$K_2(f_1, f_2) = |K_x(f_1, f_2)|^2 - |K_y(f_1, f_2)|^2,$$

$$K_3(f_1, f_2) = |K_x(f_1, f_2)|^2 + |K_y(f_1, f_2)|^2$$

– двумерные весовые функции;

$K_x(f_1, f_2)$ и $K_y(f_1, f_2)$ – комплексные частотные характеристики (КЧХ) МДФ, дифференцирующих двумерную функцию яркости соответственно вдоль строк и столбцов дискретного изображения;

C – порог, принимающий значения от 0 до 1, поскольку мера анизотропности $0 \leq \chi(\mathbf{J}) \leq 1$; для изотропного поля $\chi(\mathbf{J}) = 0$, а для текстуры с ЛЛС при отсутствии шума $\chi(\mathbf{J}) = 1$ [6, 7].

В (6) учтено свойство симметрии спектра мощности $G_\lambda(f_1, f_2)$ и то, что весовая функция $K_1(f_1, f_2)$ равна произведению КЧХ $K_x(f_1, f_2)$ и комплексно сопряжённой КЧХ $K_y(f_1, f_2)$ дифференцирующих фильтров. Кроме того, следует отметить, что мера анизотропности (5) инвариантна к значению дисперсии шума $D_{\eta}^{(0)}$.

2. МДФ с разделимыми КЧХ

По аналогии с помехоустойчивым оператором Собела будем строить помехоустойчивые МДФ размером $W \times W = (2w + 1) \times (2w + 1)$ элементов в классе разделимых фильтров, сглаживающих изображение в направлении перпендикулярном дифференцированию:

$$K_x(f_1, f_2) = \mathcal{S}(f_1) \mathcal{D}(f_2), \tag{8}$$

$$K_y(f_1, f_2) = \mathcal{D}(f_1) \mathcal{S}(f_2), \tag{9}$$

где КЧХ дифференцирующего и сглаживающего масочных одномерных фильтров соответственно равны [7] :

$$\mathcal{D}(f) = 2j(\sin(2\pi f) + \sum_{k=2}^w d_k \sin(2\pi k f)), \tag{10}$$

$$\mathcal{S}(f) = 1 + 2 \sum_{k=1}^w s_k \cos(2\pi k f); \tag{11}$$

$\mathbf{d} = \{d_k, k = \overline{2, w}\}$ и $\mathbf{s} = \{s_k, i = \overline{1, w}\}$ – весовые коэффициенты одномерных фильтров с конечными им-

пульсными характеристиками размером $W = 2w + 1$ элементов;

j – мнимая единица.

Поскольку величина решающей статистики $\chi(\mathbf{J})$ не изменится при умножении КЧХ одномерных фильтров $\mathcal{D}(f)$ и $\mathcal{S}(f)$ на произвольную положительную константу, то, не нарушая общности, в (10) и (11) принято, что $d = 1$ и $s_0 = 1$.

3. Критерий оптимизации

При анализе изображений информация об априорных вероятностях гипотез H_0 и H_1 обычно отсутствует, поэтому будем полагать распределение гипотез равновероятным. Оптимальные значения коэффициентов \mathbf{d} , \mathbf{s} и порога C определим путём минимизации вероятности ошибки P :

$$P_m = \min_{\mathbf{d}, \mathbf{s}, C} P, \tag{12}$$

где

$$P = (\alpha + \bar{\beta}) / 2. \tag{13}$$

В (13) учтено, что вероятность ошибки первого рода не зависит от параметра γ . Вероятность ошибки второго рода зависит от γ , так как сетка отсчётов и квадратная область, на которой задана анизотропная текстура, являются также анизотропными. Поскольку в алгоритме обнаружения значения коэффициентов \mathbf{d} , \mathbf{s} и порога C не должны зависеть от неизвестного параметра γ , то в (13) используется усреднённая вероятность ошибки второго рода:

$$\bar{\beta} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \beta(\gamma) d\gamma. \tag{14}$$

4. Параметры условных распределений компонент вектора \mathbf{J}

Для гипотез (3) и (4) компоненты вектора (6) представляют собой взвешенные суммы статистически независимых отсчётов двумерного дискретного спектра мощности $G_\lambda(f_1, f_2)$. Поэтому при $N^2 > 70 - 80$ условные трёхмерные распределения вектора \mathbf{J} можно считать приближённо гауссовскими: $\mathbf{N}_3(\mathbf{m}^{(0)}, \mathbf{R}^{(0)} | H_0)$ и $\mathbf{N}_3(\mathbf{m}^{(1)}, \mathbf{R}^{(1)} | H_1)$,

где

$$\mathbf{m}^{(r)} = [m_1^{(r)} \ m_2^{(r)} \ m_3^{(r)}]^T; \ r = \overline{0, 1} \tag{15}$$

и

$$\mathbf{R}^{(r)} = \begin{bmatrix} R_{11}^{(r)} & R_{12}^{(r)} & R_{13}^{(r)} \\ R_{12}^{(r)} & R_{22}^{(r)} & R_{23}^{(r)} \\ R_{13}^{(r)} & R_{23}^{(r)} & R_{33}^{(r)} \end{bmatrix}; \ r = \overline{0, 1} \tag{16}$$

– математические ожидания и ковариационные матрицы вектора \mathbf{J} при условии, что истинной является

гипотеза H_r и при фиксированном значении параметра γ .

Вероятности ошибок первого и второго рода для (5) равны:

$$\alpha = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{\sqrt{(J_1^2 + J_2^2)/C^2}}^{\infty} \mathbf{N}_3(\mathbf{m}^{(0)}, \mathbf{R}^{(0)} | H_0) dJ_3 \right) dJ_1 dJ_2, \tag{17}$$

$$\beta(\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{\sqrt{(J_1^2 + J_2^2)/C^2}}^{\infty} \mathbf{N}_3(\mathbf{m}^{(1)}, \mathbf{R}^{(1)} | H_1) dJ_3 \right) dJ_1 dJ_2. \tag{18}$$

Используя свойства числовых характеристик статистически независимых случайных величин, условные математические ожидания (15) и компоненты условных ковариационных матриц (16) с учётом (6) можно представить в виде:

$$\mathbf{m}^{(r)} = \begin{bmatrix} 2 \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_1(f_1, f_2) M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} \\ \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_2(f_1, f_2) M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} + \\ + \sum_{k_1=1}^n K_2(f_1, 0) M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, 0)\}, \\ \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_3(f_1, f_2) M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} \\ + \sum_{k_1=1}^n K_3(f_1, 0) M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, 0)\} \end{bmatrix}, \tag{19}$$

$$R_{12}^{(r)} = 8 \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_1(f_1, f_2) K_2(f_1, f_2) D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\},$$

$$R_{13}^{(r)} = 8 \sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_1(f_1, f_2) K_3(f_1, f_2) D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\},$$

$$R_{23}^{(r)} = 4 \times \left(\sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_2(f_1, f_2) K_3(f_1, f_2) D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} + \sum_{j_1=1}^n K_2(f_1, 0) K_3(f_1, 0) D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, 0)\} \right),$$

$$R_{22}^{(r)} = 4 \left(\sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_2(f_1, f_2)^2 D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} + \sum_{j_1=1}^n K_2(f_1, 0)^2 D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, 0)\} \right),$$

$$R_{33}^{(r)} = 4 \left(\sum_{k_1=-n}^n \sum_{k_2=1}^n K_3(f_1, f_2)^2 D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\} + \sum_{j=1}^n K_3(f_1, 0)^2 D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, 0)\} \right),$$

$$r = \overline{0, 1},$$

где $M\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\}$ и $D\{G_\lambda^{(r)}(f_1, f_2)\}$ - математические ожидания и дисперсии статистически независимых отсчётов выборочного двумерного спектра мощности фрагмента λ при условии, что истинной является гипотеза H_r и при фиксированном значении параметра γ .

Для гипотезы H_1 из (4) и (7) следует, что

$$G_\lambda^{(1)}(f_1, f_2) = G_z(f_1, f_2) + G_\eta^{(1)}(f_1, f_2) + \frac{2}{N^2} (\text{Re } S_z(f_1, f_2) \text{Re } S_\eta^{(1)}(f_1, f_2) + \text{Im } S_z(f_1, f_2) \text{Im } S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)), \quad (20)$$

где

$$G_z(f_1, f_2) = \frac{1}{N^2} |S_z(f_1, f_2)|^2, \quad (21)$$

$$G_\eta^{(1)}(f_1, f_2) = \frac{1}{N^2} |S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)|^2 \quad (22)$$

– выборочные двумерные спектры мощности анизотропной текстуры \mathbf{z} и аддитивного шума η_1 ; $\text{Re } S_z(f_1, f_2)$, $\text{Re } S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)$ и $\text{Im } S_z(f_1, f_2)$, $\text{Im } S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)$ – действительные и мнимые части выборочных двумерных спектров $S_z(f_1, f_2)$ и $S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)$ соответственно.

Используя свойства преобразования Фурье, нетрудно показать, что спектр дискретного полигармонического сигнала (1) равен:

$$S_z(f_1, f_2) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L A_l \left(\Psi(f_1 - \Omega_{l,s}, f_2 - \Omega_{l,c}) \exp(j\phi_l) + \Psi(f_1 + \Omega_{l,s}, f_2 + \Omega_{l,c}) \exp(-j\phi_l) \right), \quad (23)$$

где

$$\Omega_{l,s} = \Omega_l \sin \gamma; \quad \Omega_{l,c} = \Omega_l \cos \gamma;$$

$$\Psi(f_1, f_2) = \frac{1}{N^2} \prod_{i=1}^2 \frac{\sin \pi f_i N}{\sin \pi f_i} - \text{нормированная частотная характеристика двумерного прямоугольного окна с единичными весовыми коэффициентами [12].}$$

Отсчёты действительной и мнимой частей дискретного спектра белого гауссовского шума $S_\eta^{(1)}(f_1, f_2)$ являются гауссовскими статистически независимыми случайными величинами с нулевыми математическими ожиданиями. С учётом (20) и

свойств гауссовского распределения, математическое ожидание и дисперсия отсчётов выборочного двумерного спектра мощности для гипотезы H_1 равны:

$$M\{G_\lambda^{(1)}(f_1, f_2)\} = G_z(f_1, f_2) + D_\eta^{(1)}, \quad (24)$$

$$D\{G_\lambda^{(1)}(f_1, f_2)\} = \begin{cases} 2D_\eta^{(1)}(D_\eta^{(1)} + G_z(0, 0)), & f_1 = f_2 = 0; \\ D_\eta^{(1)}(D_\eta^{(1)} + 2G_z(f_1, f_2)) & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (25)$$

Приравняв нулю $G_z(f_1, f_2)$ и заменив $D_\eta^{(1)}$ на $D_\eta^{(0)}$, получим аналогичные соотношения для гипотезы H_0 :

$$M\{G_\lambda^{(0)}(f_1, f_2)\} = D_\eta^{(0)}, \quad (26)$$

$$D\{G_\lambda^{(0)}(f_1, f_2)\} = \begin{cases} 2(D_\eta^{(0)})^2, & f_1 = f_2 = 0; \\ (D_\eta^{(0)})^2, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (27)$$

5. Результаты экспериментальных исследований

Синтез МДФ проводился для анизотропной текстуры

$$z(i_1, i_2) = A \sum_{l=1}^2 \cos(2\pi(\Omega_l i_1 \cos \gamma + \Omega_l i_2 \sin \gamma)) \quad (28)$$

при $\Omega_1 = 0,15$ и $\Omega_2 = 0,2$

Вероятности ошибок α , $\beta(\gamma)$ и $\bar{\beta}$ в соответствии с (17), (18) и (14) определялись численным интегрированием. Для поиска оптимальных значений коэффициентов \mathbf{d} , \mathbf{s} и порога C , удовлетворяющих критерию (12), использовались стандартные методы оптимизации.

На рис. 1 приведены зависимости вероятности ошибки P_m от отношения сигнал/шум $q = \frac{2A}{\sqrt{2D_\eta^{(1)}}}$,

где

$$h_x = h_y^T = \begin{bmatrix} 0,3 & 0 & -0,3 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0,3 & 0 & -0,3 \end{bmatrix} \quad (29)$$

– нормированные импульсные характеристики МДФ, полученные в [7] с целью минимизации систематической ошибки оценивания ориентации алгоритмом на основе ГСТ; $2A/\sqrt{2}$ – эффективное значение полигармонического двумерного сигнала (28).

На рис. 2 и рис. 3 приведены зависимости оптимальных значений порога C и весового коэффициента ξ МДФ размером 3×3 от отношения сиг-

нал/шум. Отметим, что в (29) весовой коэффициент $\xi = 0,3$.

Поскольку предложенный метод синтеза является приближённым, то эффективность оптимальных дифференциаторов проверялась методом компьютерного моделирования. Оценка вероятности ошибки обнаружения P_m^* вычислялась путём усреднения по 10^5 тестовым изображениям для каждого значения отношения сигнал/шум q при независимых реализациях аддитивного дискретного белого гауссовского шума от изображения к изображению. Значение γ в (28) менялось случайным образом от изображения к изображению в соответствии с равномерным распределением в диапазоне $(-\pi/2, \pi/2]$.

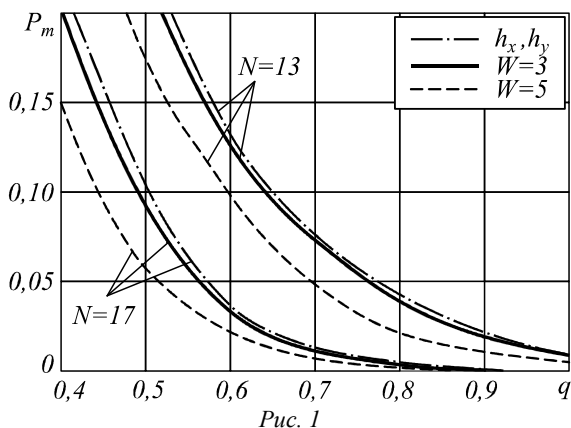


Рис. 1

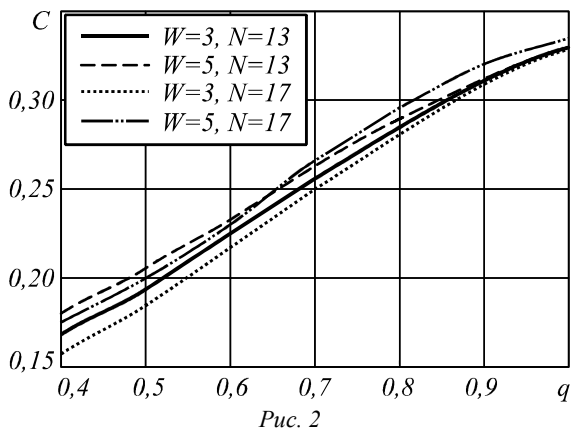


Рис. 2

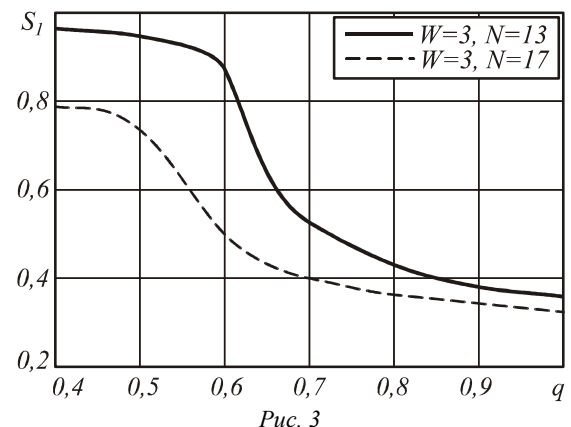


Рис. 3

На рис. 4 приведены зависимости вероятности ошибки обнаружения от q , полученные путём аппроксимации результатов компьютерного моделирования.

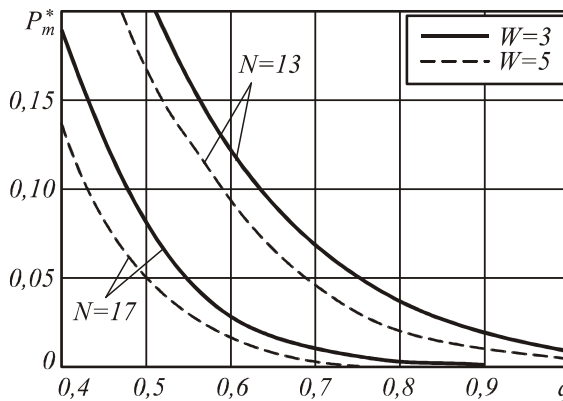


Рис. 4

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

- Использование оптимальных МДФ обеспечивает уменьшение вероятности ошибки обнаружения более чем на 5% для маски размером 3×3 и более чем на 20% для маски размером 5×5 по сравнению с МДФ, предложенным в [7].
- Значение порога C увеличивается при увеличении отношения сигнал/шум и слабо зависит от размеров анализируемого фрагмента и МДФ.
- При $q < 1$ помехоустойчивый оптимальный МДФ размером 3×3 значительно отличается от МДФ (29).
- Рассчитанные значения вероятностей ошибок алгоритма обнаружения хорошо согласуются с результатами компьютерного моделирования.

Заключение

В работе предложен метод синтеза оптимальных масочных дифференцирующих фильтров, минимизирующих вероятность ошибки алгоритма обнаружения локально ориентированных текстур на основе ГСТ. Метод основан на гауссовской аппроксимации совместного распределения компонент ГСТ. Отличительной особенностью метода является учёт шумов, искажающих анализируемую текстуру. Результаты экспериментальных исследований показали, что помехоустойчивые оптимальные МДФ отличаются от известных в литературе дифференциаторов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №11-07-00077-а).

Литература

1. **Vliet, L.** Estimators for Orientation and Anisotropy in Digitized Images / L. Vliet, P. Verbeek // Proc. First Annual Conference of the "Advanced School for Computing and Imaging" – ASCI'95, Heijen, NL, May 16-18, 1995. – P. 442-450.

2. **Maltoni, D.** Handbook of Fingerprint Recognition / D. Maltoni, D. Maio, A.K. Jain, S. Prabhakar. – NY: Springer-Verlag, 2009. – 496 p.
3. Методы компьютерной оптики / под ред. В.А. Сойфера. – 2 изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с. – ISBN 5-9221-0270-2.
4. **Грузман, И.С.** Сегментация анизотропных изображений на основе локальных спектральных моментов / И.С. Грузман, К.В. Новиков // Автометрия. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 26-32. – ISSN 0320-7102.
5. **Roli, F.** Measure of texture anisotropy for crack detection on textured surfaces / F. Roli // Electronics Letters. – 1996. – V. 32, N 14. – P. 1274-1275.
6. **Bigun, J.** Vision with Direction: A systematic introduction to image processing and computer vision / J. Bigun. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – 396 p.
7. **Jahne, B.** Digital Image processing / B. Jahne. – NY: Springer-Verlag, 2005. – 607 p.
8. **Грузман, И.С.** Анализ систематических ошибок алгоритма построения поля направлений на основе спектральных моментов / И.С. Грузман, В.Б. Карпушин // Доклады АН ВШ РФ. – 2008. – № 1. – С. 73-82. – ISSN 1727-2769.
9. **Грузман, И.С.** Синтез градиентных алгоритмов с минимальной систематической ошибкой оценивания поля направлений / И.С. Грузман, В.Б. Карпушин // Автометрия. – 2010. – Т. 46, № 1. – С. 3-12. – ISSN 0320-7102.
10. **Feng, X.** Multiscale Principal Components Analysis for Image Local Orientation Estimation / X. Feng, P. Milanfar // Proc. of the 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA. – 2002, November. – V. 1. – P. 478-482.
11. **Грузман, И.С.** Быстрый алгоритм сегментации анизотропных изображений на основе локальных спектральных моментов / И.С. Грузман, К.В. Новиков // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2005. – № 3. – С. 50-56. – ISSN 1993-8985.
12. **Dudgeon, D.E.** Multidimensional Digital Signal Processing / D.E. Dudgeon, R.M. Mersereau. – New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 488 p.
1. **Vliet, L.** Estimators for Orientation and Anisotropy in Digitized Images / L. Vliet, P. Verbeek // Proc. First Annual Conference of the “Advanced School for Computing and Imaging” – ASCI’95, Heijden, NL, May 16-18, 1995. – P. 442-450.
2. **Maltoni, D.** Handbook of Fingerprint Recognition / D. Maltoni, D. Maio, A.K. Jain, S. Prabhakar. – NY: Springer-Verlag, 2009. – 496 p.
3. Methods of Computer Images Processing (Secondary Edition) / edited by V.A. Soifer. – Moscow: “Fizmatlit” Publisher, 2003. – 784 p. – ISBN 5-9221-0270-2. – (In Russian).
4. **Gruzman, I.S.** Anisotropic image segmentation based on local spectral characteristics / I.S. Gruzman, K.V. Novikov // Avtometriya. – 2004. – V. 40, N 6. – P. 23-28. – ISSN 0320-7102. – (In Russian).
5. **Roli, F.** Measure of texture anisotropy for crack detection on textured surfaces / F. Roli // Electronics Letters. – 1996. – V. 32, N 14. – P. 1274-1275.
6. **Bigun, J.** Vision with Direction: A systematic introduction to image processing and computer vision / J. Bigun. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – 396 p.
7. **Jahne, B.** Digital Image processing / B. Jahne. – NY: Springer-Verlag, 2005. – 607 p.
8. **Gruzman, I.S.** Analysis of Systematic Errors of Algorithm of Constructing Directional Field Based on Spectral Characteristics / I.S. Gruzman, V.B. Karpushin // Doklady Akad. Nauk Vyssh. Shkoly Ros. Feder. – 2008. – N 1. – P. 73-82. – ISSN 1727-2769. – (In Russian).
9. **Gruzman, I.S.** Synthesis of Gradient Algorithms with the Minimum Systematic Error in Estimating Directional Fields / I.S. Gruzman, V.B. Karpushin // Avtometriya. – 2010. – V. 46, N 1. – P. 1-8. – ISSN 0320-7102. – (In Russian).
10. **Feng, X.** Multiscale Principal Components Analysis for Image Local Orientation Estimation / X. Feng, P. Milanfar // Proc. of the 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA. – 2002, November. – V. 1. – P. 478-482.
11. **Gruzman, I.S.** Fast Algorithm of Segmentation of Anisotropic Images Based on Local Spectral Characteristics / I.S. Gruzman, K.V. Novikov // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Rossii, Ser. Radioelektronika. – 2005. – N 3. – P. 50-56. – ISSN 1993-8985. – (In Russian)
12. **Dudgeon, D.E.** Multidimensional Digital Signal Processing / D.E. Dudgeon, R.M. Mersereau. – New Jersey: Prentice-Hall, 1984. – 488 p.

References

SYNTHESIS OF OPTIMAL DIFFERENTIATORS FOR THE LOCALLY ORIENTED TEXTURE DETECTION ALGORITHM

I.S. Gruzman

Novosibirsk State Technical University

Abstract

A method is proposed for constructing noise-resistant mask differentiating filters minimizing error probability in locally oriented texture detection algorithm based on gradient structure tensor. A gaussian approximation of the components joint distribution of the gradient structure tensor is proposed to solve the problem of synthesizing.

It is shown that a decrease in the systematic error leads to a considerable increase in the accuracy of directional field estimation. It is shown that the use of optimal mask differentiating filter greatly reduces the probability of error detection.

Key words: oriented texture, gradient structure tensor, mask differentiating filter, error detection.

Сведения об авторе

Грузман Игорь Семёнович, 1959 года рождения. В 1983 году окончил Новосибирский электротехнический институт (ныне – Новосибирский государственный технический университет – НГТУ). В 1989 году защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук, а в 1998 – диссертацию на соискание степени доктора технических наук. В настоящее время работает профессором кафедры теоретических основ радиотехники НГТУ. Круг научных интересов включает цифровую обработку сигналов и изображений, компьютерное зрение и распознавание образов. Имеет более 130 публикаций.

E-mail: isgruzman@gmail.com.

Igor Semenovich Gruzman (b. 1959), graduated (1983) from the Novosibirsk State Technical University (NSTU). He received his PhD in Technical sciences (1989) and DrSc degree in Technical sciences (1998). At present he is a professor of the Theoretical Bases of Radio Engineering Chair of the NSTU. The area of interests includes digital signals and image processing, computer vision and pattern recognition. He's list of publications contains about 130 scientific papers.

Поступила в редакцию 30 октября 2011 г.