

# Применение векторных масок в задачах цифровой обработки изображений

А.И. Новиков  
Рязанский государственный радиотехнический  
университет им. В.Ф. Уткина  
Рязань, Россия  
novikovanatoly@yandex.ru

А.В. Пронькин  
Рязанский государственный радиотехнический  
университет им. В.Ф. Уткина  
Рязань, Россия  
antoniopronkin@mail.ru

**Аннотация**—Обоснована целесообразность применения векторных масок при решении определенного круга задач цифровой обработки изображений. Приведены формулы для получения векторных масок с заданными свойствами. Применение векторных масок в задачах цифровой обработки изображений позволяет существенно сократить вычислительную сложность алгоритмов по сравнению с аналогами, основанными на матричных масках или на иных способах решения задачи.

**Ключевые слова**—линейный оператор, векторная маска, свертка, оценивание дисперсии шума, детектирование границ, поиск прямых

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Системы технического зрения (СТЗ) реального времени предполагают применение наиболее быстрых алгоритмов решения задач, стоящих перед конкретной СТЗ [1]. Одним из направлений сокращения вычислительных затрат является применение линейных операторов (фильтров) с векторными масками для решения определенного круга задач.

Авторы выделили три задачи цифровой обработки изображений, применение векторных масок в которых позволяет существенно сократить вычислительные затраты и обеспечить получение качественного результата на выходе. Первая задача – оценивание дисперсии дискретного белого шума в составе обрабатываемого изображения. Вторая задача – получение сглаженных оценок частных производных в задаче детектирования границ перепада яркостей. Третья – обнаружение прямолинейных участков в составе контурного изображения.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАССМАТРИВАЕМОГО ПОДХОДА

В каждой из трех названных задач для получения искомого результата были использованы векторные маски, весовые коэффициенты в которых получены как МНК-оценки в рамках линейной или квадратичной модели с конечной памятью. Методы получения таких масок хорошо известны. Например, на отрезке малой длины  $(2k+1)$  (5-9 пикселей) можно считать, что срез изображения по строке или столбцу адекватно описывается многочленом второй степени, то есть

$$f(x) \approx a_0 + a_1(x-x_0) + a_2(x-x_0)^2, \quad (1)$$
$$x \in [x_0 - k, x_0 + k],$$

где  $a_0 = f(x_0)$ ,  $a_1 = \partial f(x_0)/\partial x$ ,  $a_2 = (\partial^2 f(x_0)/\partial x^2)/2$ .

Как известно, оптимальную оценку вектора  $\mathbf{A} = (a_0, a_1, a_2)^T$  в составе модели (1) можно найти с

помощью метода наименьших квадратов (МНК). Искомая оценка имеет следующий вид

$$\hat{\mathbf{A}} = (\mathbf{T}^T \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^T \mathbf{F}. \quad (2)$$

Формулу (2) можно переписать в векторной форме, более удобной для практического применения в задачах обработки сигналов с помощью векторных масок

$$\begin{pmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\mathbf{q}_0, \mathbf{F}) \\ (\mathbf{q}_1, \mathbf{F}) \\ (\mathbf{q}_2, \mathbf{F}) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Можно показать, что весовые коэффициенты векторов  $\mathbf{q}_0, \mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2$  находятся по формулам (4), (5) и (6) соответственно:

$$q_j = \frac{3}{(4k^2 - 1)(2k + 3)} (3k^2 + 3k - 1 - 5j^2), \quad j = \overline{-k, k}, \quad (4)$$

$$q_j = \frac{3}{k(k+1)(2k+1)} j, \quad j = \overline{-k, k}, \quad (5)$$

$$q_j = \frac{15}{k(k+1)(4k^2 - 1)(2k + 3)} (3j^2 - k(k+1)), \quad (6)$$
$$j = \overline{-k, k}.$$

Векторные маски в виде вектора  $\mathbf{q}_0$  можно использовать для получения МНК-оценки значения функции  $f$  в точке  $x_0$  ( $\hat{f}(x_0) = (\mathbf{q}_0, \mathbf{F})$ ), вектора  $\mathbf{q}_1$  – для получения МНК-оценки производной функции  $f$  в точке  $x_0$  ( $\hat{f}'(x_0) = (\mathbf{q}_1, \mathbf{F})$ ), вектора  $\mathbf{q}_2$  – для получения МНК-оценки производной второго порядка функции  $f$  в точке  $x_0$  ( $\hat{f}''(x_0) = 2(\mathbf{q}_2, \mathbf{F})$ ).

## 3. ОЦЕНИВАНИЕ ДИСПЕРСИИ ШУМА

Для получения адекватной оценки СКО шума изображение разбивается на блоки заданного размера. В каждом блоке вычисляются выборочные дисперсии изображения. Выбираются 5 блоков с минимальными дисперсиями. В каждом из пяти выбранных блоков в свою очередь выбираются несколько строк. К срезам изображения в этих строках применяется в скользящем режиме разностный оператор  $\mathbf{B}$  с векторной маской [2].

В условиях аддитивной модели изображения «сигнал+шум» оператор  $\mathbf{B}$  будет удалять детерминированную низкочастотную компоненту  $U$  и

одновременно преобразовывать (сглаживать) случайную составляющую  $\xi$  так, что  $\mathbf{B}\xi = \eta$  и

$$D[\eta] = \left( \sum_{s=-k}^k \beta_s^2 \right) D[\xi] = \rho^2 \sigma_\xi^2.$$

Отсюда выводится формула  $\hat{\sigma}_\xi = \sqrt{\hat{D}[\eta] / \beta_0}$  для нахождения оценки СКО  $\hat{\sigma}_\xi$  шума [2].

Изложенный метод дает устойчивые оценки независимо от размеров блоков и для всех интенсивностей шумовой составляющей. В работе [2] показано, что ошибки оценивания СКО шума с помощью разностного матричного оператора могут достигать 20%...70%, а в предлагаемом методе они остаются на уровне 3%...8%.

#### 4. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ

Все известные детекторы границ градиентного типа используют матричные маски для получения оценок частных производных в составе градиента функции яркости изображения. Как показано в работе [3] применение векторной маски позволяет получать контурные изображения, не уступающие по основным характеристикам изображениям, получаемым с помощью широко известного метода Кенни. Векторная маска длины  $(2k+1)$  в предлагаемом методе имеет следующий вид (без нормирующего множителя):

$$(-k, -k+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, k-1, k). \quad (7)$$

Эта маска обеспечивает нахождение оптимальной (в соответствии с критерием метода наименьших квадратов) оценки параметра  $b$  в рамках линейной  $I(x, y_0) = a + bx + \xi_x$ ,  $\xi_x \in N(0, \sigma^2)$ ,  $x \in [x_i - k; x_i + k]$  модели среза изображения  $I(x, y)$  по строке  $y_0$  [2].

Оценки частных производных с помощью векторных масок (7) получаются сглаженными, что позволяет вместе с другими оригинальными решениями сократить вычислительную сложность алгоритма детектирования границ в 3 раза по сравнению с широко известным методом Кенни. Предложенный авторами способ определения порогов и способов их использования позволяет минимизировать число коротких неинформативных линий (рис. 1).

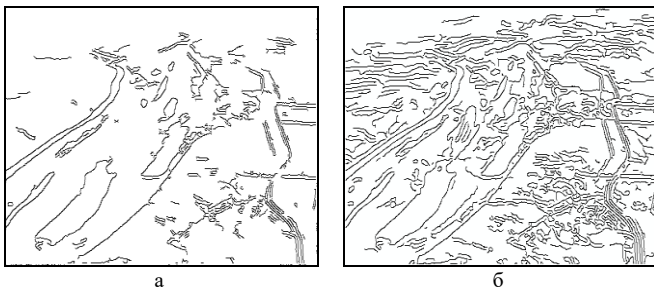


Рис. 1. Контурные изображения, выделенные по предложенному методу (а), и по методу Кенни (б)

Количество пикселей в составе формируемого контурного изображения в предлагаемом методе может быть в 1,5...5 раз меньше, чем в методе Кенни [3].

#### 5. ОБНАРУЖЕНИЕ ПРЯМЫХ НА КОНТУРНОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Метод Хафа обеспечивает надежное обнаружение и выделение прямых на изображении. Однако он имеет высокую вычислительную сложность. Более простой в вычислительном отношении алгоритм удалось построить на использовании оценок производной второго порядка вдоль контурной линии.

Изолированный контур можно рассматривать как упорядоченный набор  $\{(x, y)\}$  пар чисел  $(x, y)$  – координат пикселей контура. В свою очередь, упорядоченные списки значений  $\{x_i\}_{i=1}^n$  и  $\{y_i\}_{i=1}^n$  можно рассматривать как временные ряды.

Обозначим  $X = \mathbf{q}_2 \bullet \mathbf{x}$ ,  $Y = \mathbf{q}_2 \bullet \mathbf{y}$ , – свертки вектора  $\mathbf{q}_2$  с фрагментами  $\mathbf{x} = \{x_{i+j}\}_{j=-k}^k$  и  $\mathbf{y} = \{y_{i+j}\}_{j=-k}^k$  длины  $2k+1$  временных рядов  $\{x\}$  и  $\{y\}$ , соответственно. В итоге алгоритм идентификации прямолинейных участков контура может быть описан в виде следующих шагов:

Шаг 1. В каждом пикселе  $(x, y)$  вычисляются значения свертки  $X = \mathbf{q}_2 \bullet \mathbf{x}$ , и  $Y = \mathbf{q}_2 \bullet \mathbf{y}$ , а также значение статистики  $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ .

Шаг 2. Если на некотором наборе пикселей длины  $2k+1$  значения  $X=0$  и (или)  $Y=0$  и при этом  $R \leq \delta$ , где  $\delta$  – заданное значение порога, то принимается решение о том, что анализируемый фрагмент контура в составе  $2k+1$  пикселей может принадлежать некоторой прямой.

Изложенный алгоритм имеет линейную сложность относительно числа пикселей в составе контурного изображения.

#### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены способы получения векторных масок с заданными свойствами. Рассмотрены три группы задач, применение в которых линейных операторов (фильтров) с векторными масками позволяет существенно сократить вычислительные затраты и получить решения задач, не уступающие по качеству известным аналогам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Обработка изображений в авиационных системах технического зрения / под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. – М.: Физматлит., 2016. – 240 с.
- [2] Новиков, А.И. Метод оценки уровня шума цифрового изображения / А.И. Новиков, А.В. Пронькин // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 5. С. 713-720. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-894.
- [3] Новиков, А.И. Градиентный метод и программа детектирования границ перепада яркостей / А.И. Новиков, А.В. Пронькин // Сборник трудов VI международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии». – 2020. – С. 111-119.