

УДК 004.93'1

К.С. Смеляков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

**АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

С целью обеспечения адекватной фильтрации изображений в смысле минимизации эффекта сглаживания границ в работе предлагается система методов фильтрации пространственно некоррелированного шума, которые основаны на использовании одномерных и двумерных масок фильтра, адаптируемых к положению изображений, границ изображений и линий.

**Ключевые слова:** адаптация, изображение, граница, линия, фильтрация, шум, маска.

**Введение**

Любое цифровое изображение реальной сцены всегда зашумлено, хотя типы и параметры шумов могут варьироваться, в зависимости от условий получения снимков, в том числе, от условий эксплуатации АЦП устройства регистрации. При этом наличие шума при решении задач машинного зрения главным образом негативно влияет на устойчивость сегментации изображений, что и определяет актуальность фильтрации (сглаживания) шума [1 – 3].

Для целей фильтрации шума в настоящее время разработано огромное число разнообразных фильтров и методов фильтрации. Все эти методы принято, в основном, подразделять на методы фильтрации в пространственной и в частотной области.

Далее в работе будем считать, что изображение искажается лишь пространственно некоррелированным шумом, присущим снимкам реальных объектов и сцен [5, 6].

Построение адаптивных фильтров в литературе преимущественно основано на предположении, что поведение фильтра должно меняться в зависимости от статистических свойств изображений в области действия фильтра.

Однако для применения таких фильтров, большую проблему представляет адекватная оценка статистических свойств шума, используемая для целей адаптации при фильтрации [1].

При этом важнейшие классы пространственных сглаживающих фильтров, как правило, характеризуются приемлемым сглаживанием внутренности изображений; при этом они также характеризуются расфокусировкой границ изображений и линий из-за использования двумерных масок [7, 8].

Основная задача работы, таким образом, состоит в том, чтобы построить систему (фильтров шума и) методов фильтрации пространственно некоррелированного шума, которые могли бы с приемлемым качеством: 1 – сглаживать шум изображений, используя для этих целей статистические свойства шума и изображений в области действия фильтра, а также 2 – минимизировать при этом степень расфо-

кусировки границ изображений и линий, за счет адаптации маски фильтра к положению изображений, границ изображений и линий.

При решении сформулированной выше основной задачи будем полагать, что яркости пикселей, отвечающие значимым (импульсным) шумам, предварительно сглаживаются.

**1. Линейная адаптивная фильтрация**

В первую очередь рассмотрим построение базового унифицированного (в смысле его пригодности для объектов любого типа) метода линейной адаптивной фильтрации шума по шагам.

*Шаг 1.* Для пространственной адаптации используется технология вращения маски относительно рассматриваемого пикселя  $x_i$ , совмещенного с центром  $O$  маски, в качестве которой используется дискретный образ отрезка:  $OA, OB, \dots$  (рис. 1) [7, 8].

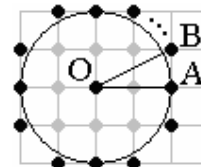


Рис. 1. Семейство масок в виде линейных шаблонов – не центрально симметричных отрезков

*Шаг 2.* Для заданного положения  $j$  маски на множестве яркостей  $\{f_j^i\}_{i=1, n_j}$  пикселей определяемых положением маски оцениваем средние яркости:

$$\bar{f}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} f_j^i. \quad (1)$$

*Шаг 3.* Находим положение маски  $j_*$  с минимальной дисперсией:

$$D_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (f_j^i - \bar{f}_j)^2; \quad (2)$$

для этого положения маски  $j_*$  находим новую сглаженную яркость  $f'$  пикселя  $x_i$ :

$$f' = \bar{f}_{j_*}. \quad (3)$$

## 2. Построение линейного адаптивного фильтра границ и линий

Использование линейных масок фильтра позволяет адаптироваться к распределению яркости как линейных, так и региональных изображений: как для внутренности изображений, так и для их изрезанных границ. При этом, однако, для линий высокой кривизны необходимо дополнять систему прямолинейных шаблонов криволинейными шаблонами, учитывающими степень кривизны рассматриваемых линий (рис. 2) и позволяющих за счет вращения адаптироваться к положению границ и линий [5].

Предложенный выше метод линейной адаптивной фильтрации, основанный на использовании семейства масок линейного типа, является унифицированным в смысле пригодности его применения для объектов любого типа. При этом он характеризуется двумя недостатками: высокой трудоемкостью и невысоким качеством фильтрации внутренности.

**Недостаток 1.** Количество отличных друг от друга масок в семействе может быть довольно большим, причем, пиксель  $O$  с пикселями  $A, B, \dots$ , может теперь соединяться несколькими способами (рис. 3); с учетом вращения количество положений масок исчисляется десятками, а с ростом радиуса – сотнями. При этом количество масок семейства с ростом радиуса маски возрастает по порядку величины полиномиально, также как и трудоемкость использования масок для целей адаптации.

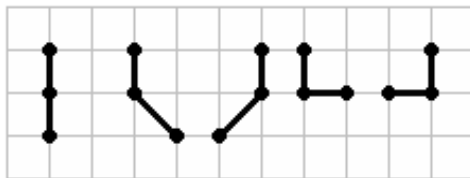


Рис. 2. Одномерная прямолинейная и не прямолинейные маски

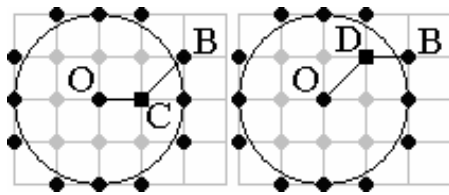


Рис. 3. Альтернативные варианты пространственной адаптации маски с использованием не прямолинейных масок

Для снижения трудоемкости адаптации и удовлетворения требованиям по времени в ущерб оптимальности принято [1, 2, 5] не использовать полный набор масок, а для заданной точности построить сокращенное семейство масок для основных практически значимых аппроксимаций форм линий.

**Недостаток 2.** За счет использования масок в виде образов не центрально симметричных отрезков (рис. 1) качество фильтрации для внутренности объекта остается невысоким.

Для компенсации этого недостатка, а также для снижения трудоемкости предлагается метод мультиадаптивной фильтрации, использующий для целей адаптации систему одномерных и двумерных масок.

## 3. Мультиадаптивная фильтрация

Допустим, что для рассматриваемых объектов, и используемых масок фильтра определенной структуры и размерности нам известны значения дисперсий, характеризующих степень однородности внутренности и границы объекта. В таких условиях мы можем использовать эту информацию для целей адаптации маски фильтра следующим образом.

**Шаг 1.** При выполнении адаптации маски будем вначале предполагать, что фильтруем внутренность изображения с использованием стандартной двумерной маски (рис. 4.а). Если для заданного положения маски выполняется условие  $D \leq D_{2D}^*$ , то оценка новой сглаженной яркости пикселя оценивается по (1) с использованием двумерной маски. Иначе переходим к шагу 2.

**Шаг 2.** Теперь, при выполнении адаптации маски будем предполагать, что фильтруем приграничную область изображения с использованием центрально симметричной маски – отрезка (рис. 4.б).

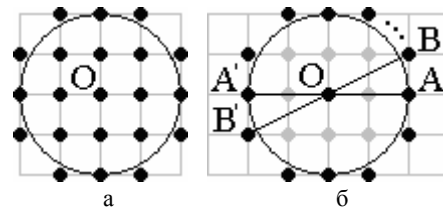


Рис. 4. Региональная маска и линейные центрально симметричные маски – отрезки ( $\overline{AA'}$ ,  $\overline{BB'}$ , ...)

При вращении определяем положения маски, ( $j=1, J$ ), для которых выполняется условие  $D \leq D_{1D}^*$ . Если искомые положения маски существуют, находим оценку новой сглаженной яркости пикселя так:

$$f' = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \bar{f}_j, \quad \bar{f}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} f_j^i. \quad (4)$$

Иначе, если искомого положения маски не существует, переходим к шагу 3.

**Шаг 3.** При выполнении адаптации маски будем предполагать, что фильтруем границу изображения с использованием не центрально симметричных масок (рис. 1). В ходе вращения определяем такие положения маски, ( $j=1, J$ ), для которых выполняется условие  $D \leq D_{1D}^*$ . Затем находим оценку новой сглаженной яркости пикселя соответственно (4).

**Шаг 4\*.** Если искомого положения маски не существует (для пикселя тени), применяем линейную адаптивную фильтрацию (раздел 1), или переходим к устранению пикселя  $x_i$  (раздел 4).

Вместо критерия, построенного на основе прямого сравнения дисперсий вида:  $D \leq D^*$ , может использоваться критерий Фишера, суть которого состоит в том, чтобы остановить перебор масок, если дисперсия перестает значительно снижаться: пусть рассчитаны дисперсии  $D_k, D_{k+1}$  для масок  $k, k+1$  и составлено  $F$ -соотношение; тогда уменьшение дисперсии нужно считать значимым если

$$F > F_{кр}(\alpha; m_1, m_2), F = \frac{D_k}{D_{k+1}}, \quad (5)$$

где  $F_{кр}(\alpha; m_1, m_2)$  – критическая точка распределения Фишера,  $\alpha$  – уровень значимости, а  $m_1, m_2$  – число степеней свободы (определяемое разностью между объемом выборки  $n$  и числом параметров уравнения  $\lambda = 0$ ). Если уменьшение дисперсии значимо, нужно положить  $k = k+1, D_k = D_{k+1}$  и продолжать перебор масок. В противном случае перебор следует остановить на маске с номером  $k$ .

В сравнении с линейным адаптивным фильтром, мультиадаптивный фильтр позволяет не только повысить качество фильтрации внутренности объектов, но при этом и снизить трудоемкость фильтрации при использовании двумерных и центрально симметричных одномерных масок.

#### 4. Построение линейного адаптивного фильтра резкости

В настоящее время кроме фильтров шума активно используются фильтры, предназначенные для повышения резкости изображений. Основной подход при этом состоит в применении операторов пространственного дифференцирования: градиента, или лапласиана [1, 5].

Основной недостаток этих фильтров состоит в том, что они не обладают избирательностью и применяются для всех пикселей изображения, искажая при этом распределения яркости изображений. При этом основная задача при повышении резкости изображении состоит в том, чтобы устранить пиксели “тени” изображения – пиксели, одновременно отвечающие фрагментам объекта и фона, яркость которых при оцифровке принимает промежуточное значение между яркостями объекта и фона (рис. 5, пиксели тени заштрихованы).

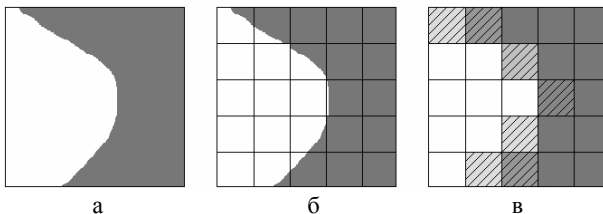


Рис. 5. Оцифровка фрагмента изображения:  
а – фрагмент аналогового изображения;  
б – дискретизация,  
в – квантование изображения

Для решения этой задачи предлагается принять за основу метод линейной адаптивной фильтрации с использованием модели маски с выколотым центром, приведенной на рис. 6. При использовании такой маски, если совместить ее центр  $O$  с пикселем тени  $x_i$ , то наилучшее по величине дисперсии (2) положение маски будет привязываться либо к объекту, либо к фону (рис. 7).

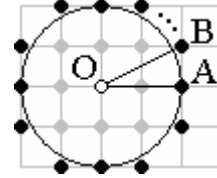


Рис. 6. Маски в виде линейных шаблонов – не центрально симметричных отрезков с выколотым центром

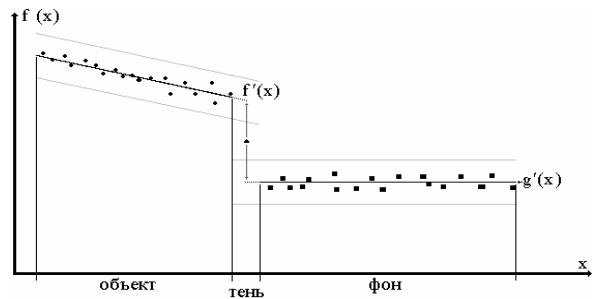


Рис. 7. Функции распределения яркости и их регрессии для объекта и фона, соответственно

Применять предложенный фильтр резкости целесообразно после сглаживания шума. При этом для обоснованного применения фильтра резкости, необходимо установить, что фильтруется пиксель тени, совпадающий с пикселем  $O$ . Для этих целей применяются следующие критерии.

**Критерий 1.** Рассматриваемый пиксель принадлежит тени изображения, если поиск по дисперсии неуспешный:  $D > D_{2D}^*, D > D_{ID}^*$ .

**Критерий 2 (базовый).** Рассматриваемый пиксель  $x$  принадлежит тени изображения, если размах  $\text{rng}$  вариационного ряда яркостей  $\{f_i\}_{i=1,n}$  пикселей окрестности  $O_x$  больше заданной пороговой величины:  $\text{rng} > T$ . С практической точки зрения для определения окрестности часто достаточно использовать стандартную прямоугольную маску  $3 \times 3$ .

**Критерий 3 (основной).** Рассматриваемый пиксель  $x_i$ , совмещенный с центром линейной маски  $O$  (рис. 1), принадлежит тени изображения, если в ходе радиального сканирования окрестности хотя бы для одного положения маски фильтра выполняется соотношение Титьена-Мура вида:

$$L_k < L_{\alpha,n,k}, L_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (f_i - \bar{f}_k)^2}{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}, \quad (6)$$

где  $L_{\alpha, N, k}$  – критическое значение критерия Титъена-Мура, отвечающее уровню значимости  $\alpha$ ;  $\bar{f}$  – средняя яркость;  $\bar{f}_k$  – средняя яркость  $n-k$  наблюдений, оставшихся после отбрасывания  $k$  наибольших наблюдений: полагаем  $k=1$ , отбрасывается яркость пикселя  $O$ . При множественном решении выбираем то положение маски, для которого функция  $L_1$  лучше (больше).

## 5. Системная адаптивная пространственная фильтрация изображений

Адаптивность при фильтрации основывается на выполнении трех основных процедур: 1 – обнаружение экстремальных наблюдений (импульсных шумов и пикселей тени изображения), 2 – учет положения объектов и их границ, 3 – использование статистических свойств шумов и изображений в области действия фильтра. Следовательно, для реализации системного подхода к адаптивной фильтрации изображений, необходимо последовательно решить следующие три основные задачи.

**Задача 1.** Обнаружение значимых (импульсных) шумов, представляемых экстремальными значениями яркости, и их сглаживание. Для обнаружения таких шумов в настоящее время общепринятым является пороговый детектор, а для их фильтрации предложено немалое количество фильтров; для адекватной фильтрации таких шумов (после исключения из рассмотрения экстремального значения) следует применять фильтры, описанные в разделах 2 – 4.

**Задача 2.** Адаптивная фильтрация (сглаживание) изображения. Методы решения этой задачи описаны в разделах 2 и 3.

**Задача 3.** Повышение резкости изображений за счет устранения пикселей тени изображений. Методы решения этой задачи описаны в разделе 4.

Для обеспечения адекватной фильтрации изображений при этом важнейшей является настройка параметров фильтров, основанная на использовании априорной информации о типах и параметрах шумов, изображений, а также об условиях получения

данных для учета вариаций параметров шумов и изображений [7, 8].

## Выводы

С целью обеспечения адекватной фильтрации изображений в смысле минимизации эффекта сглаживания границ в работе предложена система методов фильтрации пространственно некоррелированного шума, которые основаны на использовании одномерных и двумерных масок фильтра, адаптируемых к положению изображений, границ изображений и линий. Важнейшей особенностью предложенной системы фильтров при этом является их способность автоматически адаптироваться к положению рассматриваемых объектов с целью качественной фильтрации изображений.

## Список литературы

1. Gonzalez R. *Digital Image Processing. Second Edition* / R. Gonzalez, R. Woods. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
2. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
3. Яне Б. *Цифровая обработка изображений* / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
4. Шапиро Л. *Компьютерное зрение; пер. с англ.* / Л. Шапиро, Дж. Стокман – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
5. Sonka M. *Image processing, analysis, and machine vision* / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
6. Фурман Я.А. *Введение в контурный анализ; приложение к обработке изображений и сигналов* / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин: под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
7. Рубан И.В. *Научно-методологические основы создания информационно-технологии целенаправленного поиска объектов и обработки изображений: дис. ... докт. техн. наук* / И.В. Рубан. – Х., ХАИ, 2008.
8. Смеляков К.С. *Адаптивна просторова фільтрація зображень* / К.С. Смеляков // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2008. – Вип. 3(15). – С. 164-166.

Поступила в редколлегию 13.05.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## АДАПТИВНІ МЕТОДИ ПРОСТОРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

К.С. Смеляков

*З метою забезпечення адекватної фільтрації зображень в сенсі мінімізації ефекту згладжування границь в роботі пропонується система методів фільтрації просторово некорельованого шуму, які засновані на використанні одновимірних і двовимірних масок фільтру, що адаптуються до положення, границь зображень і ліній.*

**Ключові слова:** адаптація, зображення, межа, лінія, фільтрація, шум, маска.

## ADAPTIVE METHODS OF SPATIAL IMAGE FILTERING

K.S. Smelyakov

*For filtering of images, adequate in a sense of minimization of fuzziness of boundaries, a system of methods is proposed which provide filtering of spatially uncorrelated noise; they are based on one and two dimensional filter masks being adaptable to position of images, boundaries and lines.*

**Keywords:** adaptation, image, limit, line, filtration, noise, mask.