

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков, И.В. Рубан, С.В. Осиевский, О.В. Водолажко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ШУМА ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время считается, что наилучшим методом борьбы с шумом является усреднение по результатам накопления изображений. Однако применение этого метода требует наличия нескольких совмещенных изображений, получить которые при решении многих прикладных задач не представляется возможным. Поэтому для борьбы с шумом широко применяются сглаживающие фильтры шума изображений. Для таких условий в работе производится анализ эффективности применения пространственных фильтров шума изображений, а также определяются пути повышения эффективности их применения для решения актуальных прикладных задач.

Ключевые слова: изображение, шум, фильтр, маска, окрестность, адаптация.

Введение

Одной из важнейших задач, решаемых в ходе предобработки входного изображения, является задача фильтрации (сглаживания) шума [1, 2], поскольку от эффективности ее решения во многом зависит эффективность решения задач сегментации и распознавания изображений [3 – 6].

Методы фильтрации шума подразделяются на две категории: 1) методы фильтрации в пространственной области (пространственные методы) и 2) методы фильтрации в частотной области (частотные методы) [2]. Методы первой категории преимущественно ориентированы на сглаживание пространственно некоррелированного шума изображений, который возникает, как правило, вследствие проявления дефектов, вносимых электроникой устройств регистрации цифровых изображений [2, 5, 6]. При этом методы второй категории преимущественно ориентированы на фильтрацию пространственно коррелированного шума изображений.

Для описания воздействия пространственно некоррелированного шума изображений в настоящее время, как правило, используются три модели шума: 1) аддитивная, 2) мультипликативная и 3) импульсная [4]. При рассмотрении пространственно некоррелированного шума в отсутствие помех специального вида, например, обусловленных воздействием атмосферы [7, 8], обычно полагается [2], что распределение яркости изображения $g(x, y)$ представляется в виде аддитивной модели

$$g(x, y) = f(x, y) + e(x, y), \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – истинное значение яркости, а $e(x, y)$ – аддитивная помеха, возникающая, например, из-за влияния шума аппаратуры регистрации изображения; на практике распределение шума $e(x, y)$ чаще всего представляется нормальным законом распре-

деления с нулевым средним $N(0, \sigma)$. При этом, если амплитуда шума превышает заданную величину: $|e(x, y)| \geq T$, говорят о наличии импульсного шума на изображении [1, 2, 4].

При наличии на изображении помех специального вида строится мультипликативная модель зашумления [7]; при этом полагается, что модель искаженного изображения $g(x, y)$ имеет вид

$$g(x, y) = m(x, y) \cdot H[f(x, y)] + e(x, y), \quad (2)$$

где $f(x, y)$ – исходное изображение, $m(x, y)$ – мультипликативная помеха, $H[\cdot]$ – функция, описывающая воздействие на изображение помех специального вида, а $e(x, y)$ – аддитивная помеха.

Яркость изображения $g(x, y)$ формируется воздействием большого количества факторов влияния случайного характера, которые не имеют отношения к зашумлению; при получении распределения яркости $g(x, y)$ случайным образом всегда проявляются погрешности дискретизации и квантования, вариации освещения объектов поля зрения и вариации яркости в зависимости от локальной неоднородности поверхности объектов. При этом результаты влияния факторов случайного характера отделить друг от друга невозможно. Поэтому истинная яркость, как и истинная величина шума в пикселях изображения неизвестна. Таким образом, адекватно исследовать модели шума в (1) и (2) возможно лишь в том случае, если рассматривать значения яркости $f(x, y)$ как средние в окрестности пикселя $d(x, y)$, а значения шума – как отклонения от среднего в той же окрестности [2, 5, 6].

В такой постановке можно адекватно построить закон распределения шума (как комплексной случайной помехи) и использовать его далее для построения фильтра шума изображений. При этом

мультипликативную модель шума (после устранения детерминированных факторов влияния H) можно представить в таком же виде, как и аддитивную модель шума

$$g(x, y) = f(x, y) + e'(x, y), \quad (3)$$

где $e'(x, y)$ – функция мультипликативной помехи. Уровень шума $e'(x, y)$ чаще всего пропорционально зависит лишь от уровня яркости $f(x, y)$, а распределение $e'(x, y)/f(x, y)$ представляется нормальным законом распределения с нулевым средним $N(0, \sigma)$.

В настоящее время считается, что наилучшим методом борьбы с шумом является усреднение по результатам накопления изображений [2, 5, 6].

Однако применение этого метода требует наличия нескольких совмещенных изображений, что при решении многих прикладных задач практически не реализуемо. Поэтому в таких условиях единственной альтернативой накоплению является фильтрация шума изображений [7-10].

В таких условиях актуальными являются задачи анализа эффективности и определения путей повышения эффективности применения пространственных фильтров шума для решения актуальных прикладных задач. При этом будем рассматривать применение пространственных фильтров для сглаживания пространственно некоррелированного шума, поскольку такого рода шум всегда присущ снимкам реальных сцен.

1. Области применимости усредняющих фильтров шума

Самым простым в применении и вычислительном эффективном средством сглаживания шума является использование линейных или взвешенных усредняющих фильтров, например, таких как: среднеарифметический фильтр, среднегеометрический фильтр, среднегармонический фильтр и ряд иных фильтров [1, 2, 6].

Среднеарифметический фильтр. Нахождение новой сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с применением среднеарифметического фильтра задается выражением

$$h = \left\lfloor \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \right\rfloor, \quad (4)$$

где $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яркости рассматриваемых n пикселей окрестности $O_\varepsilon(x, y)$ пикселя d_{xy} , а $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция округления [2]. Применение фильтра (4) на практике часто обусловлено его приемлемым сглаживанием шума внутренности изображений при условии его очень высокой вычислительной эффективности в реализации.

Заметим, что сглаживание шума при использовании многих фильтров представляют в виде свертки по маске [1-4]

$$h = [S], \quad S = S(x, y) = \sum_{(\xi, \eta)} f_{x+\xi, y+\eta} \cdot w_{\xi, \eta}, \quad (5)$$

где $d_{x+\xi, y+\eta} \in O_\varepsilon(x, y)$, $w_{\xi, \eta}$ – весовые коэффициенты маски фильтра, $\sum_{(\xi, \eta)} w_{\xi, \eta} = 1$.

Среднегеометрический фильтр. Нахождение новой сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с применением среднегеометрического фильтра задается выражением

$$h = \left\lfloor \left(\prod_{i=1}^n f_i \right)^{\frac{1}{n}} \right\rfloor, \quad (6)$$

где $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яркости рассматриваемых n пикселей окрестности $O_\varepsilon(x, y)$ пикселя d_{xy} , а $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция округления [2].

Хотя применение этого фильтра и является существенно более трудоемким, нежели фильтра (4), тем не менее, его применение может быть обусловлено необходимостью сохранения мелких деталей на изображении, которые он подавляет в меньшей степени, чем фильтр (4) [2].

Среднегармонический фильтр. Нахождение новой сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с применением среднегармонического фильтра задается выражением

$$h = \left\lfloor \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i}} \right\rfloor, \quad (7)$$

где $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яркости рассматриваемых n пикселей окрестности $O_\varepsilon(x, y)$ пикселя d_{xy} , а $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция округления [2]. По результатам экспериментальных данных считается, что этот фильтр лучше предыдущих сглаживает импульсный «белый» и гауссов шум [2, 11-14].

Среднеконтргармонический фильтр. Нахождение новой сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с применением среднеконтргармонического фильтра задается выражением

$$h = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^n (f_i)^{q+1}}{\sum_{i=1}^n (f_i)^q} \right\rfloor, \quad (8)$$

где $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яркости рассматриваемых n пикселей окрестности $O_\varepsilon(x, y)$ пикселя d_{xy} , q – порядок

фільтра, а $\lfloor \cdot \rfloor$ – операція округлення [2]. Примене-
ние этого фильтра в ряде случаев обуславливается
тем, что он лучше предыдущих сглаживает импульс-
сные шумы [2].

Если говорить в целом, по результатам экспе-
риментальных исследований считается, что средне-
арифметический и среднегеометрический фильтры
подходят для сглаживания случайных шумов типа
гауссова, или равномерного. Контргармонические
фильтры подходят для фильтрации импульсного
шума. Сравнительный анализ применения рассмот-
ренных фильтров приведен в [2].

2. Области применимости фильтров, основанных на порядковых статистиках

Фильтры этой группы представляют собой
пространственные фильтры, вычисление отклика
которых требует предварительного упорядочения
яркостей пикселей рассматриваемой окрестности по
заданному правилу.

К этой группе фильтров относят медианный
фильтр, фильтр максимального (и минимального)
значения, фильтр серединной точки, фильтр усечен-
ного среднего и ряд иных.

Фильтры этой группы рассматриваются, как
правило, в условиях неэффективности усредняющих
фильтров (при чрезмерном размытии границ изоб-
ражений объектов и линий).

Медианный фильтр. Нахождение сглаженной
яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с примение-
нием медианного фильтра задается выражением

$$h = \text{med} \{f_i\}_{i=1, \dots, n}, \quad (9)$$

где значение отклика h представляет собой меди-
ану ряда яркостей $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ пикселей окрестности
 $O_\varepsilon(x, y)$ фильтруемого пикселя d_{xy} [1, 2].

За счет предварительной сортировки яркостей
пикселей ряда $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ медианный фильтр реали-
зует важную концепцию исключения экстремаль-
ных наблюдений (в том числе импульсных шумов),
а за счет выбора медианы – он существенно меньше
сглаживает границы изображений, чем усредняю-
щие фильтры: применение медианного фильтра
приводит к локальному выравниванию границ за
счет устранения линейных компонент границы
изображения.

При этом, однако, объекты линейного типа по-
сле применения медианного фильтра могут быть
сглажены полностью.

Для обнаружения наиболее и наименее ярких
пикселей на изображении в настоящее время часто
используются фильтры, основанные на выборе мак-
симального и минимального значения [1, 2, 9].

Фильтр минимального значения. Принцип ра-
боты этого фильтра основан на выборе минимально-
го значения в окрестности

$$h = \min \{f_i\}_{i=1, \dots, n}. \quad (10)$$

Фильтр максимального значения. Принцип ра-
боты этого фильтра основан на выборе максимал-
ного значения в окрестности

$$h = \max \{f_i\}_{i=1, \dots, n}. \quad (11)$$

Фильтр серединной точки. Нахождение новой
сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с
применением этого фильтра задается выражением

$$h = \left\lfloor \frac{1}{2} [\max \{f_i\} + \min \{f_i\}] \right\rfloor, \quad i = 1, \dots, n, \quad (12)$$

где $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ – яркости рассматриваемых n пиксе-
лей окрестности $O_\varepsilon(x, y)$ пикселя d_{xy} , минималь-
ное и максимальное значения найдены по (10), (11),
соответственно, а $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция округления [2].

Фильтр усеченного среднего. Фильтр усечен-
ного среднего работает так: для рассматриваемого
ряда яркостей $\{f_i\}_{i=1, \dots, n}$ выводится в начало ряда
 k минимальных, а в конец k максимальных значе-
ний; после этого на множестве оставшихся яркостей
 $\{f_i\}_{i=1+k, \dots, n-k}$ применяется среднеарифметический
фильтр. Таким образом, после сортировки рассма-
триваемых яркостей пикселей, нахождение новой
сглаженной яркости h фильтруемого пикселя d_{xy} с
применением фильтра усеченного среднего задается
выражением

$$h = \left\lfloor \frac{1}{n - 2 \cdot k} \sum_{i=1+k}^{n-k} f_i \right\rfloor, \quad 2k < n. \quad (13)$$

Путем управления параметром k фильтр усечен-
ного среднего (13) позволяет: 1) адаптироваться
к уровню зашумления за счет исключения экстре-
мальных наблюдений, и 2) при качественном сгла-
живании внутренности снижать степень сглажива-
ния границ изображений и линий. При предельных
значениях k фильтр усеченного среднего будет
среднеарифметическим (при $k = 0$), или медианным
(при $k = (n - 1) / 2$) [2].

3. Области применимости фильтра Гаусса и биномиального фильтра

В некоторых приложениях в настоящее время
довольно широко применяются такие взвешенные
фильтры, как фильтр Гаусса и биномиальный
фильтр [1, 2, 4, 9]. Нахождение новой сглаженной
яркости h пикселя d_{xy} с применением фильтра
Гаусса задается выражением (5), где весовые коэф-
фициенты $w_{\xi\eta}$ определяются так

$$w_{\xi\eta} = \frac{w_{\xi\eta}^*}{\sum_{\xi\eta} w_{\xi\eta}^*},$$

$$w_{\xi\eta}^* = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \cdot e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}},$$

а функция расстояния d рассчитывается следующим образом

$$d = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}.$$

Весовые коэффициенты $w_{\xi\eta}$ фильтра Гаусса неравнозначны, и нелинейно уменьшаются с ростом расстояния d от центра маски (x, y) . Хотя такая стратегия расстановки коэффициентов маски и приводит к уменьшению расфокусировки при сглаживании, тем не менее, если шум находится в центре маски, тогда он будет усилен наибольшим центральным весовым коэффициентом, что некорректно. Поэтому для сглаживания шума внутренности изображения этот фильтр не лучше среднелинейного фильтра и, тем более, фильтра усеченного среднего. На границе же все рассмотренные выше фильтры в большей или в меньшей степени дают неприемлемое ее сглаживание из-за усреднения яркостей пикселей объекта и фона, одновременно накрываемых маской фильтра и, следовательно, и их применение приводит к расширению тени изображения объекта [15]. Тот же негативный эффект отнесется и к объектам линейного типа.

Биномиальный закон распределения описывает вероятность m успехов, ($0 \leq m \leq n$), в серии из n испытаний Бернулли вида

$$P(m, n) = \frac{n!}{(n - m)!m!} \cdot p^m \cdot q^{n - m}, \quad (14)$$

где p – вероятность успеха, q – вероятность неудачи в одном испытании ($q = 1 - p$). Согласно существующей терминологии, число успехов в серии из n испытаний является случайной величиной, а формула (14) описывает распределение этой случайной величины и называется биномиальным законом распределения вероятности.

В некоторых приложениях в настоящее время довольно широко применяется биномиальный фильтр, то есть усредняющий взвешенный фильтр вида (5), весовые коэффициенты которого $w_{\xi\eta}^*$ рассчитываются на основе использования биномиального закона распределения (14). Особенности построения и использования одномерных и двумерных биномиальных масок фильтра детально описано в [9].

Заметим, что аналогично фильтру Гаусса, весовые коэффициенты $w_{\xi\eta}$ биномиального фильтра

неравнозначны, и нелинейно уменьшаются с ростом расстояния d от центра маски (x, y) .

Поэтому, хотя такая стратегия расстановки коэффициентов маски и приводит к уменьшению расфокусировки при сглаживании, тем не менее, если шум находится в центре маски, он будет усилен наибольшим центральным весовым коэффициентом, что некорректно. Таким образом, биномиальный фильтр в целом обладает теми же недостатками, что и фильтр Гаусса.

4. Области применимости адаптивных фильтров шума

Под адаптивными фильтрами будем понимать такие фильтры, параметры которых могут меняться в процессе фильтрации в зависимости от глобальных и локальных свойств изображения.

Адаптивный локальный фильтр. Сглаженная яркость h пикселя d_{xy} с применением адаптивного локального фильтра шума задается выражением

$$h(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - \frac{\sigma^2}{\sigma_L^2} \cdot [f(x, y) - M_L] & \text{if } \sigma^2 \leq \sigma_L^2, \\ M_L, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (15)$$

где σ^2 – дисперсия шума, M_L и σ_L^2 – локальное среднее и дисперсия в окрестности пикселя (x, y) , а $f(x, y)$ и $h(x, y)$ – яркости искаженного и восстановленного изображений [2].

Принимая во внимание случайный характер возникновения шума, основной моделью пространственно некоррелированного шума изображений в настоящее время является его плотность распределения. Основные статистические модели пространственно некоррелированного шума на изображениях, используемые в настоящее время в областях, связанных с обработкой изображений, а также методы их структурной и параметрической идентификации, включая оценивание дисперсии шума σ^2 , описаны в [2, 16, 17]. В этом отношении заметим, что при решении актуальных практических задач наиболее используемой в настоящее время является Гауссова модель шума.

При известной дисперсии шума σ^2 , фильтр (15) во многих практически значимых случаях позволяет адекватно сглаживать изображения, не искажая их границ за счет использования соотношения дисперсий σ^2 / σ_L^2 .

Однако в то же самое время на практике может быть не известно значение σ^2 ; кроме того, соотношения дисперсий σ^2 / σ_L^2 может давать малые значения не только для границ объектов и линий, но и для импульсного шума. В такой ситуации импульсный шум не будет сглажен.

Фільтр Ли. Для мінімізації ефекта сглаживання границ изображений в [18] предложена следующая технология фильтрации

$$h(x, y) = f(x, y) + [1 - \alpha(x, y)], \quad (16)$$

$$\alpha(x, y) = \max \left\{ 0, \frac{\sigma_L^2(x, y) - \sigma^2}{\sigma_L^2(x, y)} \right\}, \quad (17)$$

где σ^2 – дисперсия шума (оценивается заранее на этапе идентификации параметров закона распределения шума), σ_L^2 – локальная дисперсия в окрестности пикселя (x, y) , а $f(x, y)$ и $h(x, y)$ – яркости искаженного и восстановленного изображений. Таким образом, фильтр выполняет сглаживание лишь тогда, когда сигнал слабо отличается от шума, и оставляет значения яркости неизменными, когда обнаруживается наличие сильного сигнала. В такой ситуации фильтром не сглаживается импульсный шум, а также шум в окрестности границ изображений объектов и линий [18].

Сигма-фильтр. Для минимизации эффекта сглаживания границ изображений в [18] предложено формировать маску фильтра соответственно особенностям изображения в окрестности действия фильтра. В этом отношении сигма-фильтр (σ -фильтр) выполняет усреднение

$$h(x, y) = \sum_{(\xi, \eta) \in D} w(\xi, \eta) \cdot f(x + \xi, y + \eta), \quad (18)$$

где рассматриваемые пиксели в $D \subset O_\varepsilon(x, y)$ определяются по правилу

$$D = \{(\xi, \eta) : |f(x + \xi, y + \eta) - f(x, y)| \leq k \cdot \sigma\}. \quad (19)$$

Основной недостаток этого фильтра заключается в не сглаживании импульсного шума.

Адаптивный медианный фильтр. Введем в рассмотрение следующие обозначения:

- 1) z_{\min} и z_{\max} – минимальная и максимальная яркость в окрестности;
- 2) z_{med} – медиана яркости в окрестности;
- 3) z_{xy} – яркость в пикселе (x, y) ;
- 4) S_{\max} – максимальный размер окрестности.

Алгоритм 1. Адаптивной медианной фильтрации состоит из двух ветвей (ветви А и ветви В), и его действие состоит в следующем:

Ветвь А:

- 1) $A1 = z_{\text{med}} - z_{\min}$, $A2 = z_{\text{med}} - z_{\max}$;
- 2) если $A1 > 0$ и $A2 < 0$, переход к ветви В, иначе увеличить размерность окрестности, $S = S + \Delta$;
- 3) если $S \leq S_{\max}$, повторить ветвь А, иначе новая яркость оценивается так $h(x, y) = z_{xy}$.

Ветвь В:

$$1) B1 = z_{xy} - z_{\min}, B2 = z_{xy} - z_{\max};$$

$$2) \text{ если } B1 > 0 \text{ и } B2 < 0, \text{ тогда } h(x, y) = z_{xy},$$

иначе новая яркость оценивается так $h(x, y) = z_{\text{med}}$.

Особенности этого фильтра рассмотрены в [2]; его основной положительной чертой является возможность фильтрации группового шума за счет рассмотрения увеличенной окрестности пикселя. Основным недостатком этого фильтра являются в не сглаживании импульсного шума в области границы изображения, если яркость граничного пикселя объекта искажается шумом в сторону яркости фона.

Адаптивный линейный фильтр. Для фильтрации шума при приемлемом качестве сглаживания не только внутренности, но и границы изображения объекта в [15] был предложен фильтр, который для сглаживания использовал такую маску фильтра, которая представляется исходящим из фильтруемого пикселя x_i (центра маски О) дискретным образом отрезка фиксированной длины [19]. Работа этого фильтра шума описывается следующим алгоритмом.

Алгоритм 2. Линейной адаптивной фильтрации шума [20] представляется следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Пространственная адаптация маски фильтра. Для пространственной адаптации положения маски фильтра к линии уровня изображения объекта производится вращение этой маски, представляемой дискретным образом отрезка ОА, ОВ, ОС, ОD (рис. 1), относительно фильтруемого пикселя О [20, 15].

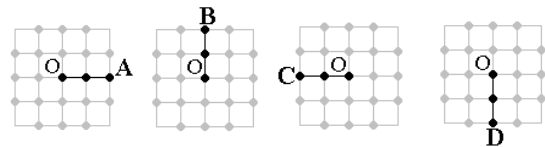


Рис. 1. Вращение маски фильтра относительно фильтруемого пикселя

При вращении маски фильтра, на множестве яркостей $\{f_j^i\}_{i=1, \dots, n_j}$ пикселей определяемых положениями маски j оцениваются средние яркости

$$\bar{f}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} f_j^i. \quad (20)$$

После получения оценок (20) для всех допустимых положений маски фильтра находится положение маски j^* с минимальной дисперсией

$$j^* = \arg \min_j \{D_j\}, D_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (f_j^i - \bar{f}_j)^2. \quad (21)$$

После этого считается, что маска фильтра должна быть расположена вдоль линии уровня

изображения, которая проходит через рассматриваемый пиксель и определяется положением j_* .

Шаг 2. Сглаживание. Для положения маски j_* новая сглаженная яркость h фильтруемого пикселя, определяемого центром маски O , оценивается на основе применения фильтра усеченного среднего.

Шаг 3. Конец.

Особенности практического применения этого фильтра состоят в том, что 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 для линий высокой кривизны необходимо дополнять систему прямолинейных масок ломанными, учитывающими форму рассматриваемых линий (рис. 2.а). При использовании таких масок фильтруемый пиксель O с пикселями своей окрестности A, B, \dots , может теперь соединяться несколькими способами (рис. 2.б).

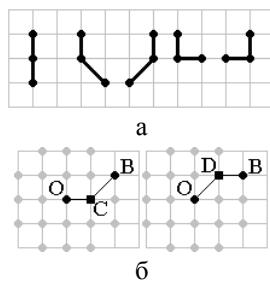


Рис. 2. Семейство линейных масок вращения (а) и варианты соединения пикселей маски (б)

Количество отличных друг от друга масок в семействе может быть довольно большим; 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. Поэтому для снижения трудоемкости и удовлетворения требованиям по времени в ущерб оптимальности целесообразно не использовать полный набор криволинейных масок, а для заданной точности построить сокращенное семейство линейных масок для практически значимых аппроксимаций линий уровней изображений [4].

Для повышения качества фильтрации внутренности и снижения общей трудоемкости фильтрации в условиях использования большого числа линейных масок фильтра предлагается алгоритм мультиадаптивной фильтрации шума изображений, использующий для целей адаптации систему одномерных и двумерных масок, а также оценки дисперсии распределений яркости внутренности и границы рас-

сматриваемых изображений. Основные шаги предлагаемого алгоритма состоят в следующем.

Алгоритм 3. Мультиадаптивной фильтрации шума изображений.

Шаг 1. Пространственная фильтрация. На первом шаге предполагается, что фильтруется яркость пикселя d_{ξ_1} внутренности изображения с использованием двумерной маски. В таких условиях:

- оценивается математическое ожидание и дисперсия D_{2D} распределения яркости в окрестности пикселя d_{ξ_1} , которая определяется положением маски фильтра с центром в d_{ξ_1} , и

- проверяется выполнение условия $D_{2D} \leq D_{2D}^*$, где D_{2D}^* – предельно допустимая дисперсия для внутренности изображения.

Если условие $D_{2D} \leq D_{2D}^*$ выполняется, считается, что пиксель d_{ξ_1} принадлежит внутренности изображения объекта. В такой ситуации для фильтрации яркости пикселя d_{ξ_1} применяется фильтр усеченного среднего на основе использования маски фильтра 3×3 ; переходим к шагу 3. Иначе, если условие $D_{2D} \leq D_{2D}^*$ не выполняется, считается, что пиксель d_{ξ_1} принадлежит границе изображения объекта; в такой ситуации переходим к шагу 2.

Шаг 2. Линейная фильтрация. На втором шаге предполагается, что фильтруется яркость пикселя d_{ξ_1} границы изображения с использованием линейных масок вращения (рис. 2) с применением предложенного выше алгоритма линейной адаптивной пространственной фильтрации шума.

Шаг 3. Конец.

Основным достоинством рассмотренных фильтров [15] является не сглаживание границ изображений за счет адаптации к положению линий уровня с использованием линейных масок вращения, а основным недостатком – нелинейный рост трудоемкости при возрастании размерности маски.

Выводы

В результате проведенного анализа эффективности существующих пространственных фильтров пространственно некоррелированного шума изображений выявлены их достоинства и недостатки, описаны особенности практического применения.

Достоинства усредняющих фильтров состоят в том, что при достаточно высокой вычислительной эффективности они позволяют практически сгладить биения яркости, возникающие из-за локальной неоднородности поверхности объектов и влияния шума с целью приближения распределения яркости изображений к среднему в регрессионном смысле.

При этом выполнение сглаживания за счет усреднения служит также для устранения мелких деталей на изображении, для устранения эффекта наложения изображений для объектов на грани разрешения, а также для устранения ветвей границ с целью выравнивания границ изображений в целом.

Вместе с тем применение фильтров рассматриваемого класса адекватно сглаживает лишь внутренность изображений объектов. Границы изображений объектов при этом сглаживаются неудовлетворительно, поскольку при получении свертки на границе изображения объекта маска фильтра, накрывает и фрагмент объекта, и фрагмент фона одновременно. В частности объекты линейного типа после фильтрации могут быть сглажены полностью.

В связи с этим возникает необходимость в разработке адаптивных фильтров шума, применение которых, при сохранении указанных выше достоинств не приводит к сглаживанию границ изображений и линий. Первым шагом в этом отношении является построение медианного фильтра и, затем, фильтра усеченного среднего. Поскольку ключевая задача, решаемая в ходе фильтрации шума – максимальное приближение яркостей пикселей объекта к средней яркости в окрестности естественной является комбинация среднеарифметического и медианного фильтров в виде фильтра усеченного среднего. Однако и этот фильтр, как показывают результаты экспериментальных исследований, не является оптимальным по ряду показателей [1, 2, 15].

Хотя применение рассмотренных выше адаптивных фильтров и позволяет решить ряд проблем сглаживания шума изображений, которые не могут быть решены применением неадаптивных фильтров, тем не менее, адаптивные фильтры более трудоемкие в применении. В ряде случаев рост трудоемкости фильтрации является вполне допустимым и оправданным, поскольку за счет сглаживания шума обеспечивается устойчивость сегментация изображений [1]. Однако это не всегда так, поскольку применение адаптивных фильтров шума не всегда позволяет решить актуальную проблему адекватного сглаживания шума в области границ изображений объектов.

Построение адаптивных фильтров в литературе [1, 2, 15] основано на предположении, что поведение фильтра должно меняться в зависимости от статистических свойств изображения в области действия фильтра. Однако адекватная оценка свойств изображения в области действия фильтра и, тем более, ее соотнесение с той или иной ситуацией зашумления изображения представляет в настоящее время довольно серьезную проблему.

В этом отношении базовую проблему часто представляет адекватная идентификация модели шума, из-за недостатка экспериментальных данных.

Кроме того, актуальную проблему представляет построение адекватного критерия дискриминации фрагмента изображения в рассматриваемой области действия фильтра на область границы и внутренность, с учетом вариаций фотометрических параметров снимка и действия шума, [20-24], что главным образом обуславливается схожестью оценок распределения яркости для границы изображения и импульсных шумов. При этом, как показывает анализ современной литературы, сглаживание шума, как правило, производится не избирательно, то есть без предварительного применения критериев оценки типа и параметров фильтруемого шума [4]. В этом отношении проблему может представлять построение адекватного критерия дискриминации типа шума в рассматриваемой области действия фильтра.

Таким образом, для улучшения качества сглаживания предварительно фильтрации целесообразно: 1) определить тип области действия фильтра (внутренность, граница, линия), 2) найти яркости пикселей, отвечающие, по крайней мере, импульсным шумам [1, 2, 25-27] для того, чтобы исключить их из дальнейшего рассмотрения, поскольку применение любого фильтра шума обязательно должно быть сопряжено с исключением экстремальных наблюдений предварительно сглаживанию.

Важнейшие классы пространственных сглаживающих фильтров характеризуются приемлемым сглаживанием внутренности, однако при этом они характеризуются неприемлемым сглаживанием границ изображений и линий из-за использования двумерных масок [2, 20-22]. В этом отношении для улучшения качества адаптации и сглаживания границ изображений и линий предварительно фильтрации может быть целесообразным использовать линейные маски вращения для адаптации положения маски фильтра к положению линии уровня изображения объекта (фона). При этом ряд проблем адекватной фильтрации группового шума может быть решен за счет использования варьирования размерности маски фильтра, как в адаптивном медианном фильтре. В этом отношении может быть актуальным использование критериев фильтрации групповых экстремальных наблюдений, например, с использованием критерия Титьена-Мура [25].

Главным системным недостатком является отсутствие единой комплексной модели и метода фильтрации шума изображений, включающей этапы применения критериев:

- 1) идентификации и исключения экстремальных наблюдений,
- 2) идентификации типа рассматриваемого фрагмента изображения
- 3) фильтрации шума, позволяющего адекватно сглаживать шум, как внутренности, так и границ изображений объектов и линий.

Список литературы

1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Лбов Г. С. Устойчивость решающих функций в задачах распознавания образов и анализа разнотипной информации / Г. С. Лбов, В. Б. Бериков. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 2005. – 219 с.
4. Sonka M. Image processing, analysis and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
5. Журавлев Ю. И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М.: Фазис, 2005. – 159 с.
6. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
7. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
8. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 351 с.
9. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
10. Chen C. H. Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision / C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P. Wang. – London: Word Scientific Publishing Company, 1993. – 984 p.
11. Ключко В. К. Алгоритмы фильтрации и сегментации трехмерных радиолокационных изображений поверхности / В. К. Ключко, А. А. Ермаков // Автометрия. – 2002. – № 4. – С. 41–48.
12. Самойлин Е. А. Критерии оценивания качества фильтрации импульсных шумов на изображениях / Е. А. Самойлин // Автометрия. – 2006. – № 4. – С. 25–35.
13. Галалу В. Г. Оценка эффективности цифровой фильтрации периодических и импульсных помех на основе локальных статистик / В. Г. Галалу, В. В. Сарычев, М. М. Клопот // Автометрия. – 2009. – № 3. – С. 111–116.
14. Трифонов А. П. Эффективность обнаружения неоднородных изображений на фоне шума / А. П. Трифонов, К. А. Зимовец // Автометрия. – 2003. – № 1. – С. 19–27.
15. Смеляков К. С. Модели и методы сегментации изображений объектов нерегулярного вида для автономных систем технического зрения: дис. ... докт. техн. наук: 01.05.02 / Смеляков Кирилл Сергеевич. – Х., 2012. – 306 с.
16. Лямец В. И. Методы статистического анализа / В. И. Лямец. – Х.: ХВВКИУРВ, 1988. – 227 с.
17. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Т.1 / Н. Дрейпер, Г. Смит. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
18. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Соифера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
19. Смеляков К. С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Смеляков Кирилл Сергеевич. – Х., 2005. – 162 с.
20. Смеляков К. С. Адаптивна просторова фільтрація зображень / К. С. Смеляков, І. В. Рубан // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – Вип. 3 (15). – С. 164–166.
21. Воскобойников Ю. Е. Адаптивный алгоритм фильтрации и преобразования изображений в векторный формат / Ю. Е. Воскобойников, А. Б. Колкер // Автометрия. – 2002. – № 4. – С. 3–11.
22. Белявцев В. Г. Векторные локальные фильтры с адаптацией размера апертуры / В. Г. Белявцев, Ю. Е. Воскобойников // Автометрия. – 2001. – № 6. – С. 32–45.
23. Смеляков К. С. Адаптивные методы пространственной фильтрации изображений / К. С. Смеляков // Збірник наукових праць ХВПС. – 2009. – Вип. 2 (20). – С. 95–98.
24. Смеляков К. С. Побудова моделі спотворень функції яскравості зображення в умовах зашумлення в просторовій області / К. С. Смеляков // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – Вип. 1 (17). – С. 129–133.
25. Смоляк С. А. Устойчивые методы оценивания / С. А. Смоляк, Б. П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
26. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / под ред. Я. А. Фурмана. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2003. – 592 с.
27. Шлезингер М. И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. И. Шлезингер, В. Главач. – К.: Наукова думка, 2004. – 545 с.

Поступила в редколлегию 29.01.2013

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

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФІЛЬТРІВ ШУМУ ЗОБРАЖЕНЬ

К.С. Смеляков, І.В. Рубан, С.В. Осієвський, О.В. Водолашко

В даний час вважається, що найкращим методом боротьби з шумом є усереднення по результатам накопичення зображень. Однак застосування цього методу вимагає наявності кількох суміщених зображень, отримати які при вирішенні багатьох прикладних задач неможливо. Тому для боротьби з шумом широко застосовуються згладжуючі фільтри шуму зображень. Для таких умов у роботі проводиться аналіз ефективності застосування просторових фільтрів шуму зображень, а також визначаються шляхи підвищення ефективності їх застосування для вирішення актуальних прикладних задач.

Ключові слова: зображення, шум, фільтр, маска, окіл, адаптація.

PERFORMANCE ANALYSIS OF IMAGE NOISE SPATIAL FILTERS

K.S. Smelyakov, I.V. Ruban, S.V. Osievsky, O.V. Vodolazhko

It is considered at present that the best way to subdue a noise consists in averaging the results of accumulated images. However, as far as this requires an availability of several superposable images, this method may not be implemented in a series of applications spheres where such images cannot be obtained. In such cases the image noise spatial filters are widely used. For these conditions an analysis of efficiency of image noise spatial filters is carried out; as a result, the measures are proposed which allow to increase the performance of these filters for solving a number of important application problems.

Keywords: image, noise, filter, mask, vicinity, adaptation.