

---

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков, Е.М. Дроб

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВ РЕЗКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*В настоящее время считается, что наилучшим методом повышения резкости изображений является усреднение по результатам накопления изображений. Однако применение этого метода требует наличия достаточно большого количества совмещенных изображений, получить которые при решении многих прикладных задач невозможно. Поэтому на практике широко применяются фильтры резкости, основанные на использовании операторов дифференцирования. Для таких условий в работе производится анализ эффективности применения фильтров резкости изображений, а также определяются пути повышения эффективности их применения для решения актуальных прикладных задач.*

**Ключевые слова:** *эффективность, изображение, фильтр, резкость, дифференциальный оператор.*

### Введение

В настоящее время одним из ключевых этапов обработки цифрового изображения считается этап предварительной обработки [1 – 3]. На этом этапе рассматриваемое изображение подготавливается к сегментации: в результате решения задач предварительной обработки цифровое изображение приводится к такому виду, который обеспечивает вычислительную эффективность сегментации объектов на этом изображении [4 – 6].

В зависимости от условий получения изображения на этапе предварительной обработки может решаться чрезвычайно широкий спектр задач. Ос-

новные из них – это задачи преобразования цветовой модели изображения, задачи фильтрации шума и повышения резкости изображения, а также ряд специфических задач по устранению смаза, искажений изображения вследствие влияния атмосферы и недостатков линз [2, 4, 7].

Во многих приложениях, связанных с анализом цифровых изображений, интересующие нас объекты могут иметь невысокий уровень контраста по отношению к фону, на котором они расположены. В таких условиях возникают проблемы с сегментацией в смысле не выделения границ слабоконтрастных объектов, а также с дешифрированием снимков в смысле не обнаружения слабоконтрастных объек-

тов; при этом существенно возрастает трудоемкость дешифрирования слабоконтрастных изображений.

В результате становится невозможным использовать оперативные и точные автоматические системы машинного зрения для анализа слабоконтрастных изображений. Становится также невозможным оперативно предоставлять адекватные результаты дешифрирования обрабатываемых снимков.

В таких условиях на этапе предварительной обработки актуальным является применение методов, алгоритмов и информационных технологий повышения резкости для того, чтобы подчеркнуть (контрастировать) мелкие детали и объекты на снимке, а также для того, чтобы улучшить восприятие тех объектов, которые были расфокусированы в силу ряда причин [2, 4].

Практически идеальным методом повышения резкости цифровых изображений считается метод, основанный на обработке результатов накопления изображений. Суть этого метода состоит в том, чтобы для фиксированных условий получить  $n$  снимков объекта, а затем отдельно обработать значения яркости пикселей этих изображений с одинаковыми координатами  $(x, y)$ . Как правило, зафиксировав координаты  $(x, y)$ , на основе распределения  $\{f_i(x, y)\}_{i=1, \dots, n}$  строят гистограмму частот появления значений яркости в пикселе с координатами  $(x, y)$  выборочного изображения  $i$ . После этого применяют заданный критерий исключения экстремальных наблюдений, например,  $k \cdot \sigma$ -критерий, критерий Граббса, или критерий Титъена-Мура [8].

После удаления экстремальных наблюдений на оставшемся распределении  $\{f_i(x, y)\}_{i=1, \dots, n'}$  находят наиболее вероятное значение яркости пикселя с координатами  $(x, y)$ , которое, как правило, оценивается математическим ожиданием яркости вида

$$m = \frac{1}{n'} \cdot \sum_{i=1}^{n'} f_i(x, y),$$

как это показано на рис. 1.

Как правило, если возможно обработать достаточно большое число изображений, при  $n \geq 24$  [2], закон распределения  $P(f)$  яркости  $f$  для каждого пикселя  $(x, y)$  изображения очень близок к нормальному закону распределения вида

$$P(f, \sigma, m) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(f-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1)$$

что позволяет использовать для исключения экстремальных наблюдений хорошо изученные критерии  $k \cdot \sigma$ -критерий, критерий Граббса, или критерий Титъена-Мура [8], а также оперативно и адекватно аппроксимировать яркость  $f(x, y)$  в пикселе  $(x, y)$  по среднему после применения процедуры исключения экстремальных наблюдений.

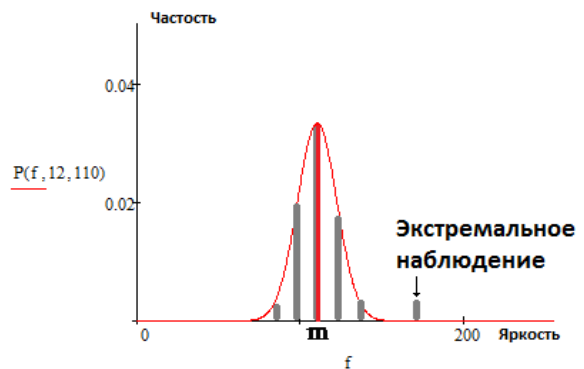


Рис. 1. Аппроксимация яркости пикселя по результатам обработки накопления изображений

При этом описанный метод обработки результатов накопления изображений позволяет одновременно с повышением резкости устранить шум изображения, что чрезвычайно важно, поскольку существующие методы повышения резкости неустойчивы к шуму [1, 2, 4]. Однако сфера применения накопления изображений в настоящее время является довольно узкой, поскольку при решении многих задач получить требуемую выборку из  $n$  изображений для фиксированных условий съемки не представляется возможным. Поэтому в настоящее время применяются следующие методы повышения резкости цифровых изображений.

В литературе описано [1 – 6], что повышение резкости изображений может быть достигнуто за счет применения операторов пространственного дифференцирования. Применение таких операторов позволяет усилить значимые перепады яркости на границах объектов с фоном, а также мелкие детали и шумы на снимке, и не усиливать области с медленным изменением уровня яркости [2]. Далее в процессе анализа дифференциальных операторов будет показано, что такая особенность их применения не является исключительно их достоинством, поскольку на практике нужно усиливать слабоконтрастные границы объектов на снимке, шумы необходимо подавлять, а все прочие пиксели не трогать вообще.

В таких условиях актуальными являются задачи анализа эффективности и определения перспективных путей повышения эффективности применения фильтров резкости для решения актуальных прикладных задач.

## 1. Каноническое повышение резкости изображений

Итак, для построения фильтров резкости в настоящее время используются операторы пространственного дифференцирования, которые: 1) на участках с постоянной яркостью должны давать ноль, 2) в местах разрыва яркости – значимый отклик.

Для этих целей для построчной обработки снимка используется первая производная вида

$$df / dx = f(x + 1) - f(x), \quad (2)$$

которая, кроме выдвинутых выше условий, на участках с постоянной скоростью роста (убывания) функции яркости не дает ноль; здесь  $x$  – это координата пикселя, а  $f$  – функция яркости в этом пикселе.

Кроме первой производной для контрастирования при построчной обработке снимка используется вторая производная вида

$$d^2f/dx^2 = f(x+1) + f(x-1) - 2 \cdot f(x), \quad (3)$$

которая, кроме выдвинутых выше условий, на участках с постоянной скоростью роста (убывания) функции яркости дает ноль.

Проведенные исследования показывают, что при решении задач подчеркивания резких перепадов яркости (включая шум), вторая производная вида (3), как правило, дает значимо большее значение, чем первая производная вида (2). При обработке не резких перепадов яркости все меняется наоборот. Также проведенные исследования показывают, что при использовании первой производной отклики оператора контрастирования дают более широкую полосу – контур объекта [2].

В настоящее время считается, что при решении большинства прикладных задач использование второй производной лучше использования первой производной потому, что использование второй производной дает лучшее усиление мелких объектов и деталей. При этом первая производная в основном используется для подчеркивания границ объектов на снимке [2]. По этой причине рассмотрим вначале применение второй производной для улучшения изображений. При этом будем рассматривать изотропные фильтры резкости. Изотропный фильтр – это фильтр, отклик которого не зависит от направления границ и деталей на снимке. Еще говорят, что изотропный фильтр является инвариантным к повороту; так, если повернуть изображение, или маску фильтра на произвольный угол, то отклик фильтра в одной и той же точке будет постоянным [2].

Наиболее очевидным и простым изотропным оператором, основанным на использовании второй производной, является широко известный лапласиан. Для функции яркости  $f(x, y)$ , зависящей от двух пространственных координат  $(x, y)$ , лапласиан определяется так [2]

$$\nabla^2 f = d^2f/dx^2 + d^2f/dy^2. \quad (4)$$

При применении этого выражения для обработки дискретного изображения переходят к рассмотрению конечных разностей вида

$$d^2f/dx^2 = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2 \cdot f(x, y), \quad (5)$$

$$d^2f/dy^2 = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2 \cdot f(x, y). \quad (6)$$

При этом дискретный вид лапласиана [2]:

$$\nabla^2 f = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4 \cdot f(x, y) \quad (7)$$

Для целей цифровой обработки выражение (7) представляют маской фильтра (рис. 2).

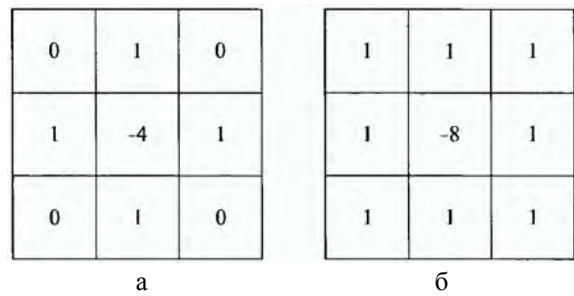


Рис. 2. Маска фильтра оператора Лапласа соответственно определению (7) (а), и маска фильтра дискретного оператора Лапласа, полученная за счет добавления диагональных элементов (б) [2]

Применение оператора Лапласа на цифровом изображении подчеркивает разрывы яркости, которые свойственны границам объектов и линиям, и дает изображение откликов, которое имеет вид серых линий в области границ изображений объектов с резким перепадом яркости; остальные пиксели изображения, соответствующие внутренности объектов и фона имеют черный цвет. Теперь, если сложить исходное изображение и изображение откликов лапласиана, получим изображение с контрастными границами изображений объектов.

Обобщенный алгоритм использования лапласиана, предложенный в [2], сводится к применению правила контрастирования вида

$$h(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), \quad (8)$$

при условии, что весовой коэффициент  $c(\xi, \eta)$  в центре маски  $(\xi, \eta)$  меньше нуля; иначе знак перед лапласианом меняется на противоположный знак.

Пример применения оператора (8) для повышения резкости фотоснимка лунной поверхности приведен на рис. 3 по данным из [2].

В некоторых источниках считается, что процедуру повышения резкости можно производить на основе выражения, полученного подстановкой выражения (7) в выражение (8) вида

$$h(x, y) = 5 \cdot f(x, y) - (f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)), \quad (9)$$

или с применением маски фильтра, представленной на рис. 4.

Однако результаты теоретического анализа и простого численного эксперимента показывают, что использование такого оператора является некорректным, поскольку выражение (9) является ненормированным и величина отклика  $h(x, y)$  может выходить за пределы допустимых значений. Поэтому применение описанного выше фильтра резкости должно включать условие нормировки, либо отдельный этап градиентной коррекции значений яркости отклика, по

крайней мере, за счет простого отсечения яркостей, выходящих за пределы допустимых значений.

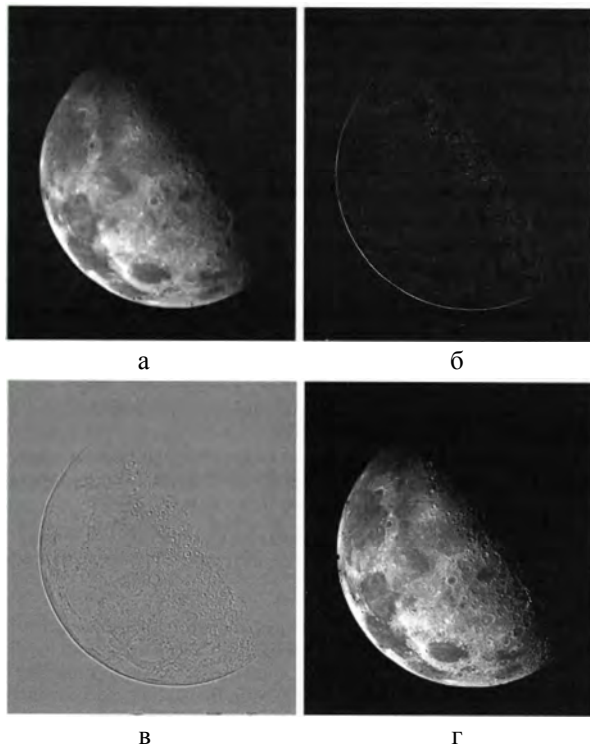


Рис. 3. Фотоснимок лунной поверхности (а), фотоснимок лунной поверхности, отфильтрованный лапласианом (б), фотоснимок-лапласиан после градиционной коррекции (в) и фотоснимок лунной поверхности, улучшенный с применением фильтра (г)

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	5	-1	-1	9	-1
0	-1	0	-1	-1	-1
а			б		

Рис. 4. Составные маски фильтра дискретного оператора Лапласа [2]

## 2. Нерезкое маскирование и фильтрация с подъемом высоких частот

Уже много лет для повышения резкости изображений в полиграфии используется прием, который называется нерезким маскированием [2]. Суть этого приема состоит в том, чтобы для изображения  $f(x, y)$  вначале построить его расфокусированную копию  $r(x, y)$ , а затем получить изображение  $h(x, y)$  с повышенной резкостью так

$$h(x, y) = f(x, y) - r(x, y). \quad (10)$$

После выполнения сглаживания, яркости пикселей внутренней изображений объектов и фона

будут мало отличаться от яркостей соответствующих им пикселей расфокусированной копии. Напротив, яркости пикселей границы будут отличаться значительно. Поэтому после вычитания по (10) разности для границы будут иметь большие значения, а для внутренней маленькие значения.

Фильтрация с подъемом высоких частот является обобщением процедуры нерезкого маскирования [2]. Эта операция производится так

$$h'(x, y) = k \cdot f(x, y) - r(x, y), \quad (11)$$

где коэффициент  $k \geq 1$ . При этом выражение (11) может быть переписано с учетом (10) так

$$h'(x, y) = (k - 1) \cdot f(x, y) + [f(x, y) - r(x, y)] = (k - 1) \cdot f(x, y) + h(x, y). \quad (12)$$

Заметим, что в выражениях (10) – (12) не определено правило вычисления расфокусированной копии  $r(x, y)$ . Поэтому оператор для получения изображения  $r(x, y)$  может выбираться для решения прикладной задачи индивидуально. В качестве оператора может выбираться и лапласиан. В таких условиях, обобщенный алгоритм использования лапласиана [2] сводится к применению правила контрастирования вида

$$h(x, y) = k \cdot f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), \quad (13)$$

при условии, что весовой коэффициент  $c(\xi, \eta)$  в центре маски  $(\xi, \eta)$  меньше нуля; иначе знак перед лапласианом меняется на противоположный знак.

В такой ситуации повышение резкости изображения может производиться с применением маски фильтра, представленной на рис. 5.

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	$k+4$	-1	-1	$k+8$	-1
0	-1	0	-1	-1	-1
а			б		

Рис. 5. Маски фильтра подъема высоких частот [2]

Применение фильтра с подъемом высоких частот вида (11) – (13) служит для обработки неконтрастных изображений, общий уровень яркости которых ниже, чем это требуется для целей анализа. Заметим, что с ростом коэффициента  $k$ , эффект повышения резкости уменьшается.

Выполнение нерезкого маскирования и фильтрации с подъемом высоких, как правило, требует применения условия нормировки, либо применения градиционной коррекции получаемых значений яркости отклика  $h(x, y)$ , поскольку эти значения могут выходить за пределы допустимых значений.

В настоящее время считается, что применение фильтров нерезкого маскирования также приводит к усилению шумов изображения, к формированию заметных ореолов вдоль границ, а также к неравномерному увеличению локального контраста вдоль границы. Впрочем, этими недостатками можно охарактеризовать все фильтры резкости, основанные на использовании производных.

### 3. Улучшение изображений с применением операторов, основанных на использовании первой производной

Операторы, основанные на использовании первой производной, как правило [2], используют модуль градиента функции яркости вида

$$\nabla f(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{df}{dx} \\ \frac{df}{dy} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Модуль градиента (14), который используется в расчетах, определяется так

$$\mu = |\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2}. \quad (15)$$

В силу того факта, что операция извлечения квадратного корня в (15) является намного более трудоемкой, чем арифметические операции сложения и умножения, вместо выражения (15) для оценивания величины градиента на практике часто пользуются выражением

$$\mu \approx \left| \frac{df}{dx} \right| + \left| \frac{df}{dy} \right|. \quad (16)$$

В настоящее время для практического применения первой производной применяются разнообразные маски [2, 3]; чаще всего в литературе практическое применение первой производной иллюстрируется с применением семейства масок вращения, например, масок Робертса, масок Собела или Превит. Эти маски так и задаются семейством, поскольку оператор первой производной не является инвариантным к повороту. При этом для оценивания величины градиента  $\nabla f(x, y) = \nabla f$  направленные маски используются так

$$\begin{aligned} |\nabla f| = & |(f_{\xi-1, \eta+1} + 2f_{\xi, \eta+1} + f_{\xi+1, \eta+1}) - \\ & (f_{\xi-1, \eta-1} + 2f_{\xi, \eta-1} + f_{\xi+1, \eta-1})| + \\ & |(f_{\xi+1, \eta-1} + 2f_{\xi+1, \eta} + f_{\xi+1, \eta+1}) - \\ & (f_{\xi-1, \eta-1} + 2f_{\xi-1, \eta} + f_{\xi-1, \eta+1})|, \end{aligned} \quad (17)$$

где индексация яркостей приведена на рис. 6.

Альтернативный оператор оценивания величины градиента приведен в работе [9].

$f_{\xi-1, \eta-1}$	$f_{\xi, \eta-1}$	$f_{\xi+1, \eta-1}$
$f_{\xi-1, \eta}$	$f_{\xi, \eta}$	$f_{\xi+1, \eta}$
$f_{\xi-1, \eta+1}$	$f_{\xi, \eta+1}$	$f_{\xi+1, \eta+1}$

Рис. 6. Относительные координаты яркостей пикселей окрестности [2]

### 4. Комбинированные методы улучшения изображений

При решении нетривиальных задач рассмотренные выше подходы (основанные на использовании градиента, лапласиана, сглаженной копии и градационных преобразований) сами по себе редко дают приемлемые результаты. Поэтому в настоящее время эти преобразования применяются в комплексе. При этом лапласиан применяется для подчеркивания мелких деталей и углов, а градиент – для подчеркивания границ. Негативное свойство применения лапласиана – усиление шума.

Сглаженное изображение при этом удобно использовать для последующего обнаружения разрывов яркости и маскирования.

Градационные преобразования находят широкое применение для: 1) осветления/затемнения изображения, 2) увеличения динамического диапазона яркости, 3) нормировки яркости после применения ненормированных преобразований; в перспективе принцип градационных преобразований может использоваться для повышения резкости за счет использования нелинейных преобразований.

Особенности применения такого комплексного подхода описаны в [2] на примере улучшения рентгеновского снимка скелета человека.

При этом считается, что большее практическое значение имеет повышение резкости за счет устранения перепадов яркости между объектом и фоном. В настоящее время существует немало публикаций, посвященных этой теме, основанных на применении морфологической фильтрации изображения, например, работа [10]. Однако нерешенная проблема таких фильтров – построение ступеней на изображении с резкими перепадами яркости между ними как на границе, так и во внутренности объектов и фона. При этом изображение становится похожим на акварельный рисунок. Кроме того, области шумовых выбросов значительно расширяются.

### 5. Методы градационной коррекции изображений

Повышение резкости изображений во многих приложениях неразрывно связано с применением методов градационной коррекции, используемых:

1) для изменения динамического диапазона яркости (для осветления/затемнения снимков) с целью улучшения восприятия снимка,

2) для нормировки динамического диапазона яркости после применения ненормированных дифференциальных и иных операторов повышения резкости изображения, если значения яркости изображения выходят за допустимый диапазон яркостей.

По умолчанию градационная коррекция производится на основе использования полинома первой степени вида

$$f(x) = a + b \cdot x. \quad (18)$$

Так, допустим, что яркости исходного изображения лежат в диапазоне  $(0, 100)$  и это изображение требуется осветлить путем преобразования его яркостей  $x$  к новым значениям яркости  $f$ .

Задаются крайние точки  $(0, 0)$  и  $(100, 255)$  после чего строится прямая, проходящая через эти точки (рис. 7).

Для выбранных значений яркости уравнение прямой имеет вид

$$f(x) = 0 + 2.55 \cdot x. \quad (19)$$

После нахождения коэффициентов  $(a, b)$  значения яркости  $x$  исходного изображения подставляются в уравнение (19) и заменяются новыми значениями яркости  $f(x)$ .

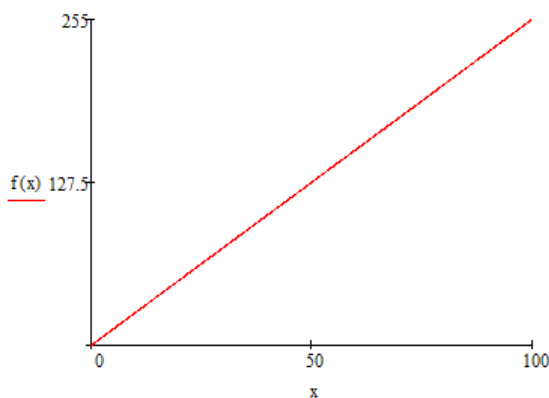


Рис. 7. Линейное градационное преобразование яркости с диапазона  $(0, 100)$  на диапазон  $(0, 255)$

Градационная коррекция производится на основе анализа гистограммы яркости изображения.

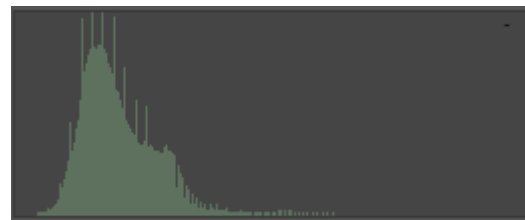
При этом увидеть и оценить такие преобразования можно не только на самом изображении, но и на гистограмме изображения, которая уже долгое время является основой для применения современных методов обработки цифровых изображений.

Пример применения градационной коррекции затемненного аэрофотоснимка местности приведен на рис. 8.

На этом снимке можно увидеть, что после применения градационной коррекции объекты на осветленном аэрофотоснимке различимы значительно лучше. Следовательно, оперативность и адекватность дешифрирования такого снимка уже намного выше, нежели исходного затемненного снимка.



а



б



в



г

Рис. 8. Затемненный аэрофотоснимок (а) и его гистограмма (б), гистограмма осветленного аэрофотоснимка (в) и осветленный аэрофотоснимок (г) (<http://geographyofrussia.com/wp-content/uploads/2009/03/00.jpg>)

## Выводы

В результате проведенного анализа эффективности фильтров резкости изображений выявлены их достоинства и недостатки, описаны особенности практического применения.

Как показывает проведенный анализ, на фоне несомненных достоинств современные фильтры резкости имеют ряд существенных недостатков.

Во-первых, эти фильтры не ориентированы на повышение резкости за счет обнаружения и устранения пикселей тени изображения объекта [9]. Реализация такого подхода позволила бы естественным образом повышать резкость изображений объектов на снимке без необходимости искажения яркости в области границ.

Хотя морфологические фильтры и ориентированы на устранение перепадов яркости между объектом и фоном, тем не менее, применение таких фильтров на практике не ориентировано на устранение тени объекта и приводит к построению ступеней на изображении с резкими перепадами яркости между ними как на границе, так и во внутренности объектов и фона; изображение в результате становится похожим на акварельный рисунок. При этом области шумовых выбросов значительно расширяются.

Во-вторых, существующие фильтры резкости значимо подчеркивают лишь контрастные перепады яркости, которые и так являются видимыми; при этом слабоконтрастные объекты остаются слабоконтрастными.

В-третьих, применение фильтров нерезкого маскирования приводит к усилению шумов изображения, к формированию заметных ореолов вдоль границ, а также к неравномерному увеличению локального контраста вдоль границы.

Что более важно, в настоящее время отсутствующая системная модель комплексного применения существующих методов повышения резкости [11, 12].

Решение указанных важнейших проблем (повышение резкости за счет фильтрации пикселей тени изображения объекта, унификация модели градиентной коррекции снимка, а также построение модели комплексного применения методов повышения резкости) является важнейшим для целей обеспечения требуемого уровня эффективности функционирования систем улучшения качества изображений.

## 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. Sonka M. Image processing, analysis and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
4. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
5. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 351 с.
6. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
7. Журавлев Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько. – М.: Фазис, 2005. – 159 с.
8. Смоляк С.А. Устойчивые методы оценивания / С.А. Смоляк, Б. П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
9. 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.
10. Schavemaker J.G.M. Image sharpening by morphological filtering / J.G.M. Schavemaker, M.J.T. Reinders, J.J. Gerbrands, E. Backer // Pattern Recognition. – Vol. 33, Is. 6. – 2000. – P. 997-1012.
11. 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.
12. Шлезингер М.И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М.И. Шлезингер, В. Главач. – К.: Наукова думка, 2004. – 545 с.

Поступила в редколлегию 22.09.2014

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

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРІВ РІЗКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

К.С. Смеляков, Є.М. Дроб

*В даний час вважається, що найкращим методом підвищення різкості зображень є усереднення за результатами накопичення зображень. Однак застосування цього методу вимагає наявності досить великої кількості суміжних зображень, отримати які при вирішенні багатьох прикладних завдань неможливо. Тому на практиці широко застосовуються фільтри різкості, засновані на використанні операторів диференціювання. Для таких умов у роботі проводиться аналіз ефективності застосування фільтрів різкості зображень, а також визначаються шляхи підвищення ефективності їх застосування для вирішення актуальних прикладних задач.*

**Ключові слова:** ефективність, зображення, фільтр, різкість, диференційний оператор.

## PERFORMANCE ANALYSIS OF IMAGE SHARPENING FILTERS

K.S. Smelyakov, E.M. Drob

*It is considered at present that the best way for enhancement of image sharpness 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. For this reason the image sharpening filters are widely used in applications, which are based on differentiation operators. For these conditions a performance analysis of image sharpening filters is carried out and the measures are proposed for increasing their efficiency on solving a number of important application problems.*

**Keywords:** efficiency, image, filter, sharpness, differentiation operator.