



АЛГОРИТМ ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА СНИМКАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А. А. ЧЕРНОМОРЕЦ
А. С. БЕЛОВ
Н. О. ЗАЙЦЕВА
Е. С. ГУСЕВА
Т. В. ВОЛКОВА

*Белгородский
государственный
университет*

*e-mail:
rets@bsu.edu.ru*

Chernomo-

В работе приведено описание алгоритма избирательной фильтрации импульсных помех на изображениях земной поверхности, исследованы точностные характеристики соответствующих вычислительных алгоритмов.

Ключевые слова: изображение, импульсный шум, избирательный фильтр, медианный и усредняющий фильтры.

Введение

В настоящее время для оценки состояния земной поверхности, процессов происходящих на ней большое значение имеет решение проблем дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Одним из основных направлений разработок систем ДЗЗ является создание автоматизированных систем обработки изображений земной поверхности, представленных в цифровом виде. В большинстве случаев в данных системах возникает необходимость обработки зашумленных изображений. Основными источниками шума на изображениях в цифровом виде являются процесс регистрации изображения (плохие условия съемки, функционирование датчиков различной природы, с помощью которых получено изображения, процесс квантования [1] (при оцифровке) зарегистрированных величин), а также процесс его передачи, например, при передаче изображений помехи возникают из-за низкого качества каналов связи (наличие наводок от различных источников электромагнитных полей, наличие собственных шумов активных компонент (усилителей) линии передачи и др.).

Одними из наиболее распространенных видами шумов являются Гауссов и импульсный шум [2], а также их комбинация. В данной работе исследованы точностные характеристики избирательных, настраиваемых методов, позволяющие эффективно удалять импульсный шум на изображении.

Поскольку в цифровом виде изображения принято представлять в виде матрицы яркости [3], значения элементов которой соответствуют яркости точек изображения, то, обычно, под импульсным шумом [4] понимают расположенные случайным образом изолированные точки на изображении, значение яркости которых значительно отличается от значений яркости окружающих их точек изображения.

Одной из причин появления импульсного шума является ситуация, когда в процессе получения и передачи изображения имеют место быстрые переходные процессы в применяемой аппаратуре, например, неправильная коммутация.

Для удаления импульсных шумов в настоящее время применяют пространственные линейные сглаживающие фильтры и фильтры, основанные на порядковых статистиках. Недостатком применения данных фильтров является изменение значений яркости практически всех пикселей изображения, что зачастую существенно влияет на результат изучения изображений, например, при исследовании изменений растительного покрова на земной поверхности.

Результатом применения простейшего линейного сглаживающего пространственного фильтра к отдельному пикселю изображения является вычисление среднего значения яркостей пикселей окрестности данного пикселя, покрываемой маской фильтра. Данные фильтры также называют усредняющими или низкочастотными фильтрами. Процесс фильтрации заключается в замене исходного значения яркости пикселя в центре маски на полученное значение выхода фильтра.

При применении сглаживающих фильтров исходные значения элементов изображения заменяются на средние значения, попадающие в маску фильтра, что обеспечивает уменьшение резких перепадов значений яркости соседних пикселей. Основное назначение сглаживающих фильтров заключается в подавлении деталей на изображении, резко отличающихся от окружающих их других деталей. Под резко отличающимися деталями в сглаживающих фильтрах понимают множество пикселей, количество элементов в которых мало по сравнению с размерами маски фильтра. Так как одним из свойств случайного шума являются резкие скачки значений яркости, то данное свойство определяет одно из распространенных применений сглаживающих фильтров – подавление шума. Резкими перепадами яркостей также обладают контуры, которые обычно представляют интерес при анализе изображений, поэтому недостатком применения сглаживающих фильтров является размытие контуров.

В большинстве известных сглаживающих фильтрах применяются маски с заранее заданными коэффициентами, соответствующими элементам маски. Данные коэффициенты позволяют находить, например, среднее арифметическое значение R яркостей пикселей $m_i, i = 1, 2, \dots, 9$, из некоторой окрестности, соответствующей маске фильтра, которая приведена на рис. 1а,

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 m_i,$$

или различные варианты взвешенных средних (пример коэффициентов маски приведен на рис. 1б).

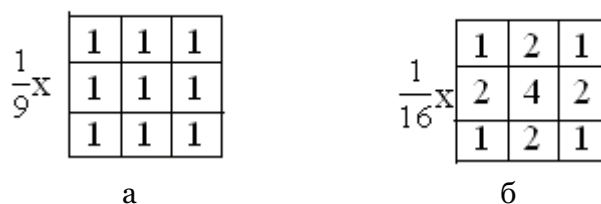


Рис. 1. Маски сглаживающих фильтров

В общем случае, преобразование яркости пикселей с помощью фильтра взвешенного среднего, маска которого имеет размеры $m \times n$, определяется следующим выражением

$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)},$$

где $f(x, y), g(x, y)$ – яркости пикселя (x, y) исходного и преобразованного изображений, $w(s, t)$ – вес элемента (s, t) маски фильтра.

Фильтры, основанные на порядковых статистиках, принадлежат к классу пространственных нелинейных фильтров. Для получения результата применения данного фильтра предварительно необходимо упорядочить (проранжировать) значения



яркости пикселей изображения, попадающих в маску фильтра, выбрать значение, находящееся на указанной позиции упорядоченной последовательности, затем присвоить это значение пикселю изображения, находящемуся в центре маски фильтра.

Широко используют медианный фильтр, при применении которого значение яркости пикселя заменяется на значение медианы множества значений яркостей пикселей, входящих в маску фильтра. Медианные фильтры широко применяются потому, что при удалении импульсного шума они обладают меньшим эффектом расфокусировки, чем линейные сглаживающие фильтры. Применение медианного фильтра состоит в замене отличающегося от пикселей маски значения пикселя изображения на другое, равное яркости одного из его соседних.

Медиана некоторой упорядоченной последовательности чисел представляет собой 50-й процентиль данной последовательности, т.е. такое число M , у которого слева и справа от него находится одинаковое количество элементов данной упорядоченной последовательности. Так, для маски, 3×3 элементов, медианой является пятое значение в упорядоченной последовательности значений яркостей, для маски 5×5 – тринадцатое значение и т.д.

Помимо медианного фильтра при обработке изображений применяются и другие виды фильтров, основанные на порядковых статистиках. Так, применение 100-го percentиля позволяет построить фильтр максимума, который используют при поиске наиболее ярких точек на изображении по отношению к соседним. Применение 0-го percentиля позволяет построить фильтр минимума (используется для поиска наиболее темных точек по отношению к соседним).

Далее в данной работе исследуются избирательные фильтры, которые позволяют повысить эффективность удаления импульсных шумов за счет того, что они изменяют значения яркости только тех пикселей изображения, которые на основании некоторого критерия считаются соответствующими импульсным помехам.

Удаление импульсного шума на основе избирательных фильтров

Функционирование избирательных фильтров основано на том факте, что пиксель, яркость которого искажена импульсной помехой, окружен большим количеством неизмененных шумом пикселей, яркость которых существенно отличаются от яркости помехи.

Алгоритм работы избирательного фильтра можно описать следующим образом.

1. Зададим исходные данные:

а) ввести изображение f_{ij} размерности $m \times n$, $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, в виде матрицы яркости;

б) выбрать размер N_w прямоугольной маски или окрестности, используемой для анализа яркости пикселей изображения, N_w – нечетное число, например, $N_w=3, 5,\dots$;

в) выбрать некоторое пороговое значение T , на основании которого определяется существенное различие соседних пикселей.

2. Выберем очередной элемент (i,j) , $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, изображения, его яркость задается значением f_{ij} элемента (i,j) матрицы яркости. Необходимо сравнить значение яркости f_{ij} с яркостью соседних пикселей. Для этого выберем некоторую окрестность (i,j) -го элемента изображения (размер окрестности $N_w \times N_w$) так, чтобы в ее центре размещался данный элемент.

3. Рассмотрим яркость пикселей, находящихся в данной окрестности. Вычислим количество совпадений N_1 и отличий N_2 яркости f_{ij} выбранного пикселя относительно яркостей пикселей окрестности следующим образом:

$$N_1 = \sum_{i_1=0}^{N_w-1} \sum_{j_1=0}^{N_w-1} E q_{i_1 j_1} - 1,$$



где

$$Eq_{i,j_1} = \begin{cases} 1, & \text{если } |f_{ij} - f_{i+i_1-[N_w/2], j+j_1-[N_w/2]}| < T, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда,

$$N_2 = N_w N_w - N_1 - 1.$$

Обозначим, M_{ij} – множество значений яркости точек окрестности, для которых

$$Eq_{i,j_1} = 1,$$

K_{ij} – множество значений яркости точек окрестности, для которых

$$Eq_{i,j_1} = 0.$$

4. Если

$$N_1 > N_2,$$

то перейти к шагу 2, т.е. считаем, что яркость анализируемого пикселя не отличается от яркости пикселей окрестности и, следовательно, не изменяем данное значение.

5. Изменим значение яркости анализируемого пикселя (i,j) на одно из следующих значений (в зависимости от выбранного метода):

а) $f_{ij} = \text{median}(K_{ij})$ – медиана значений множества K_{ij} ;

б) $f_{ij} = \text{moda}(K_{ij})$ – мода значений множества K_{ij} ;

в) $f_{ij} = \text{mean}(K_{ij})$ – среднее арифметическое значений множества K_{ij} .

6. Перейти к шагу 2.

Вычислительные эксперименты

Для проверки работоспособности исследуемых избирательных фильтров был проведен ряд вычислительных экспериментов.

Суть отдельного вычислительного эксперимента заключается в следующем. К исходному изображению f_{ij} , $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, добавлен импульсный шум некоторой плотности. затем с помощью одного из исследуемых фильтров было получено отфильтрованное изображение g_{ij} , $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$. В качестве точностной характеристики (качества удаления импульсного шума) выбранного фильтра используется среднеквадратическое отклонение r отфильтрованного изображения относительно исходного

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - g_{ij})^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}^2}.$$

Преобразованиям были подвергнуты изображения земной поверхности, разбитые на следующие классы:

- изображения, содержащие крупные и мелкие объекты,
- светлые и темные изображения,
- модельные изображения (черный квадрат).

В ходе экспериментов были использованы следующие параметры аддитивного импульсного шума:

- плотность: 0.01, 0.03, 0.05, 0.08, 0.10, 0.15, 0.20,
- размер импульсной помехи: 1x1, 2x1, 2x2 пикселей.

Маска фильтра в различных экспериментах была выбрана 3×3 , 5×5 , 7×7 пикселей. Пороговому значению T , на основании которого принималось решение о существенном отличии яркостей соседних пикселей, присваивались значения 10, 20, 40, 50 пикселей.

В различных вычислительных экспериментах были использованы следующие фильтры:

- избирательный медианный фильтр,
- избирательный модальный фильтр,
- избирательный усредняющий фильтр,
- модальный фильтр [3],
- усредняющий фильтр, коэффициенты маски которого равны 1 [3].

Результаты вычисления среднеквадратических отклонений изображений, полученных с помощью исследуемых фильтров, относительно исходных («незашумленных» изображений), приведены на рис. 2, 3, 4.

На рис. 2 приведены в виде графиков значения среднеквадратических отклонений изображений с крупными и мелкими деталями после очистки их от импульсного шума с различной плотностью относительно исходных соответствующих изображений. Значение порога в данном эксперименте равно 50.

В виде графиков значения среднеквадратических отклонений при различной величине порога T и при других постоянных параметрах исследуемых фильтров приведены рис. 3.

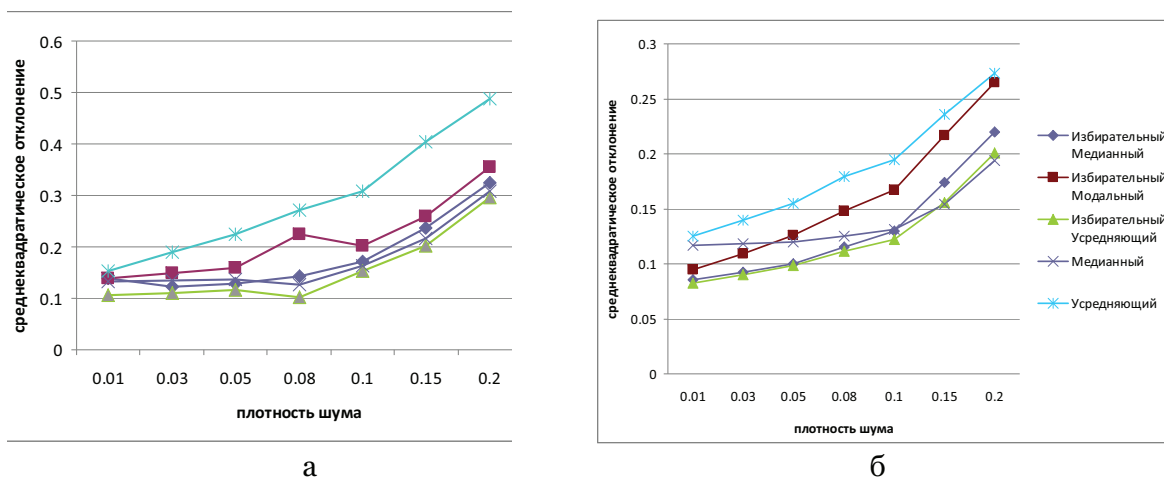


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение яркостей изображений после фильтрации
а – изображение с крупными деталями, б – изображение с мелкими деталями

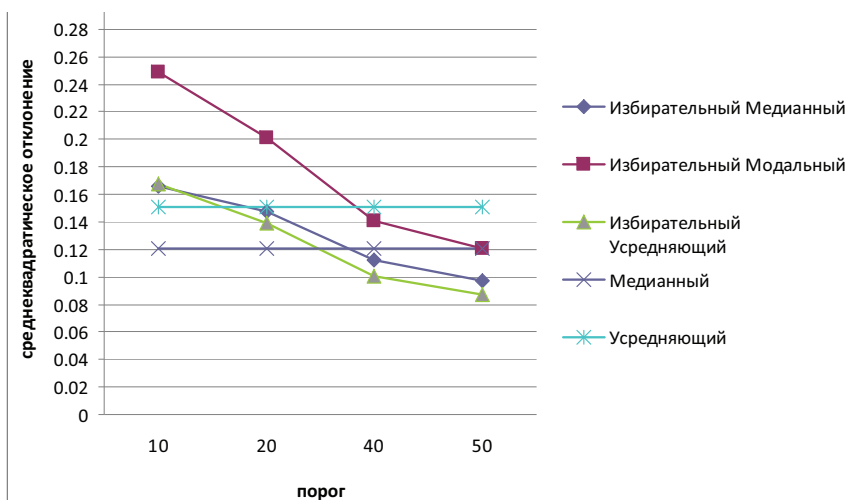


Рис. 3. Среднеквадратическое отклонение при различных значениях порога

Результаты вычисления среднеквадратических отклонений результатов фильтрации при различных значениях размера помехи и маски фильтра приведены на рис. 4.

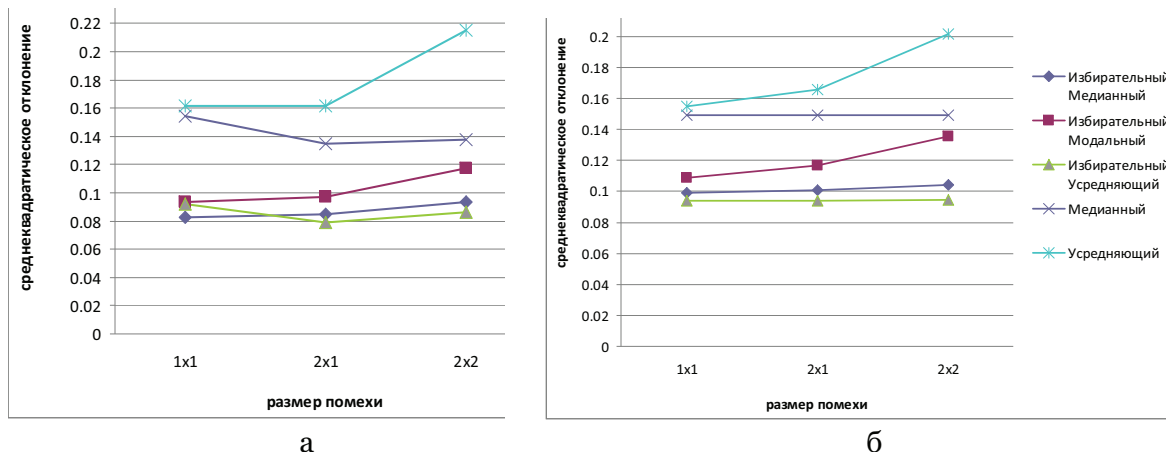


Рис. 4. Среднеквадратическое отклонение яркостей изображений после фильтрации при различных размерах маски фильтра: а – 5×5, б – 7×7

Выводы

Проведенные вычислительные эксперименты показывают высокую эффективность применения избирательных фильтров по сравнению с известными фильтрами, применяемыми для удаления импульсных помех.

Литература

1. Жилияков, Е.Г. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец. – Белгород: Изд-во ООО «ГиК», 2009. – 146 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений [Текст] / Под редакцией В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
4. Калинкина, Д. Проблема подавления шума на изображениях и видео и различные подходы к ее решению [Электронный ресурс] / Д. Калинкина, Д. Ватолин // Компьютерная графика и мультимедиа: сетевой журн. / МГУ им. М.В. Ломоносова, ф-т ВМиК. – 2005. – № 3(2). – Режим доступа: <http://www.cgm.computergraphics.ru/content/view/74>.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 10-07-00266.

IMPULSE NOISE SELECTIVE FILTRATION ALGORITHM ON EARTH SURFACE PHOTOS

A. A. CHERNOMORETS
A. S. BELOD, N. O. ZAITSEVA
E. S. GUSEVA, T. V. VOLKOVA

Belgorod State University

e-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

This article presents the description of impulse noise selective filtration algorithm on earth surface photos. Precision characteristics of corresponding computational algorithms are analyzed.

Key words: image, impulse noise, selective filter, median and mean filters.