

УДК 621.396

## ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ПОМЕХАМИ ТОЧЕЧНОГО И СТРОЧНОГО ТИПА, НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ИТЕРИРОВАННЫХ ФУНКЦИЙ

*Г.Я. Красовский, д-р техн. наук, М.Л. Усс*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"*

Предложен алгоритм фильтрации изображений, искаженных импульсными помехами различного типа. Этот алгоритм позволяет повысить качество оценки истинного значения пикселя, искаженного импульсной помехой, по сравнению с рядом известных алгоритмов. Это достигается путем использования информации о самоподобии изображений на различных масштабах. Показано также, что предложенный алгоритм способен подавлять аддитивный гауссов шум. Проведен сравнительный анализ алгоритма фильтрации как визуальный, так и на основе количественных критериев.

\* \* \*

Запропоновано алгоритм фільтрації зображень, спотворених імпульсними завадами різного типу. Цей алгоритм дозволяє підвищити якість оцінки істинного значення пікселя, спотвореного імпульсною завадою, в порівнянні з рядом відомих алгоритмів. Це досягається шляхом використання інформації про самоподібність зображень на різних масштабах. Показано також, що запропонований алгоритм здатний заглушувати адитивний гауссів шум. Проведено порівняльний аналіз алгоритму фільтрації як візуальний, так і на основі кількісних критеріїв.

\* \* \*

The algorithm for image corrupted by impulse noise filtering is proposed in this paper. The proposed algorithm allows to improve quality of true pixel corrupted by impulse noise value estimation in comparison with some known algorithms. Information about image self-similarity on different scales is used for filtering. It is also shown that proposed algorithm is able to suppress additive Gaussian noise. The comparative analysis of filter performance is done both visually and using quantitative criteria.

### Введение

Изображения, содержащие информацию, полученную при дистанционном зондировании поверхности земли, формируются обычно на борту летательного или космического аппарата, где расположены датчики и устройства первичной обработки сигналов. Сформированные данные затем передаются на наземный пункт обработки, где происходит обработка изображений. При передаче изображения обычно подвергаются кодированию и декодированию, в результате чего может произойти искажение импульсной помехой.

При высоком качестве канала связи и применении помехоустойчивых кодов вероятность появления импульсного шума мала и шумы пространственно не коррелированы, т.е. вероятность искажения двух соседних пикселей – величина более высокого порядка малости по сравнению с вероятностью искажения одного пикселя. Но такие предположения о канале связи не всегда верны. Если использу-

ются более дешевые каналы связи, а значит, более простые, или передача происходит в присутствии мощных электромагнитных излучений, то может произойти искажение нескольких пикселей, следующих друг за другом. В дальнейшем такой тип импульсных помех будем называть помехой строчного типа, а пространственно-некоррелированную помеху – помехой точечного типа.

Пример изображения, искаженного помехами строчного и точечного типов, будет приведен ниже. Присутствие таких помех чрезвычайно затрудняет анализ изображения при решении потребителем специфических тематических задач, поэтому важно устранить импульсные помехи всех типов, сохранив при этом полезную информацию, содержащуюся на изображении.

На основе анализа литературы можно выделить два основных подхода к фильтрации импульсных помех:

- Использование робастных фильтров, обеспечивающих совместное подавление импульсных помех и фильтрацию аддитивного или мультипликативного шумов [1, 2].

- Алгоритмы, направленные только на подавление импульсных помех. Такой тип алгоритмов состоит из двух этапов: 1) обнаружение импульсной помехи и 2) оценка истинного значения пикселей, искаженных импульсной помехой [3,4,5,6].

Вторая группа алгоритмов предпочтительнее, так как для алгоритмов первой группы очень тяжело удовлетворить одновременно требованиям эффективного подавления импульсной помехи и минимального искажения сигнала.

Алгоритмы второй группы осуществляют предварительное обнаружение импульсной помехи на основе некоторого критерия и последующую фильтрацию только тех пикселей, которые отнесены к импульсной помехе. Если для обнаружения импульсной помехи предложено много алгоритмов, то для последующей оценки истинного значения пикселя обычно используется усредняющий, медианный фильтр или их модификации [3,4,5]. Фильтры такого типа не обеспечивают качественную оценку истинного значения сигнала. Такая ситуация неприемлема в случае строчных помех, так как после фильтрации они могут быть заметны глазу. Поэтому актуальна задача повышения качества оценки истинного значения пикселей, искаженных импульсной помехой строчного или точечного типов.

### 1. Постановка задачи

В современной литературе [7, 8] отмечается, что природные объекты и сигналы, получаемые при взаимодействии с такими объектами, обладают свойством самоподобия на различных масштабах. Использование этого свойства привело к хорошим результатам при решении задачи сжатия изображений [7], поэтому можно ожидать хороших результатов при решении задачи оценки. В данной работе предлагается алгоритм оценки истинного значения пикселей, искаженных импульсной помехой, осно-

ванный на теории систем итерированных функций (СИФ), что позволяет учесть свойство самоподобия изображений на различных масштабах.

### 2. Модель наблюдения

Предложенный алгоритм разрабатывался применительно к изображениям в градациях серого. Будем считать, что изображение наблюдается в присутствии аддитивной помехи

$$I_{ij} = I_{ij}^{tr} + n_{ij}^a, \quad (1)$$

где  $I_{ij}$  –  $ij$ -й пиксель зашумленного изображения,  $I_{ij}^{tr}$  – истинное значение изображения,  $n_{ij}^a$  – аддитивная помеха. Аддитивная помеха полагается нормально распределенной, с нулевым средним и СКО, равным  $\sigma_0$ .

Будем считать также, что изображение искажено импульсной помехой точечного типа

$$I_{ij} = \begin{cases} I_{ij}, & \text{с вероятностью } 1-P_i, \\ n_{ij}^i, & \text{с вероятностью } P_i, \end{cases} \quad (2)$$

где  $n_{ij}^i$  – величина, равномерно распределенная в диапазоне возможных значений яркости;  $P_i$  – вероятность искажения импульсной помехой. Кроме того, считается, что на изображении могут присутствовать искажения в виде горизонтальных линий различной длины.

Считается, что пиксель, искаженный импульсной помехой, никакой информации об истинном значении сигнала не содержит, и оно должно быть оценено на основе неискаженных пикселей.

### 3. Алгоритм обнаружения

В данной статье рассматривается в основном алгоритм оценки истинного значения пикселя, искаженного импульсной помехой, однако некоторое внимание было уделено и алгоритмам обнаружения. За основу был выбран SD-ROM алгоритм [4]. Алгоритм заключается в следующем:

1. Рассматриваются пиксели в скользящем окне размером  $3 \times 3$  с центром в текущем пикселе. Центральный пиксель этой окрестности обозначим через  $p$ , восемь остальных пикселей – через  $p_1, p_2, \dots, p_8$ .

2. Сортируются значения пикселей  $p_1, p_2, \dots, p_8$

$$p_1, p_2, \dots, p_8 \rightarrow r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_8. \quad (3)$$

3. Вычисляются разности  $d_1, d_2, \dots, d_8$

$$d_i = \begin{cases} r_i - p, & i = 1..4, \\ p - r_i, & i = 5..8. \end{cases} \quad (4)$$

4. Принятие решения. Решение принимается по следующему алгоритму:

$$b = \begin{cases} 1, & d_j > T_j \cdot D, \\ 1, & d_{9-j} > T_j \cdot D, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (5)$$

где  $D$  – СКО элементов  $x_1, x_2, \dots, x_8$ ,  $b$  – индикатор импульсной помехи ( $b=1$  - помеха есть,  $b=0$  - помехи нет). Отличие от работы [4] в том, что для каждого положения скользящего окна пороги умножаются на СКО сигнала в окне в целях адаптации к изменениям сигнала.

Ввиду отсутствия рекомендаций по выбору порогов  $T_1, T_2, T_3, T_4$  они были вычислены экспериментально на основе большого числа изображений. Получены следующие значения порогов:  $(T_1, T_2, T_3, T_4) = k \cdot (2,15, 2,58, 3, 3,65)$ , где  $k$  – константа, которая выбирается из диапазона  $(0,9, 1,1)$

Однако SD-ROM алгоритм не позволяет обнаружить помеху строчного типа. Помеха такого типа обнаруживалась алгоритмом, используемым в MSF-фильтре [1], который заключается в следующем.

Для каждого пикселя находится число пикселей, попадающих в  $2\sigma_0$  – окрестность:

$$I(i,j) - 2\sigma_0 \leq I(x,y) \leq I(i,j) + 2\sigma_0, \quad (6)$$

где  $(i,j)$  – координаты обрабатываемого пикселя,  $(x,y)$  – координаты пикселя, расположенного внутри окна размером  $5 \times 5$  с центром в  $(i,j)$ . Если число пикселей меньше фиксированного порога, то считается, что данный пиксель искажен импульсной помехой.

Описанные методы объединялись для получения окончательного результата. Для этого импульсные помехи, обнаруженные SD-ROM алгоритмом, дополнялись линейно протяженными помехами, обнаруженными вторым алгоритмом. Кроме того, предполагалось, что если в строке большое число пикселей искажено импульсными помехами, то искажена вся строка.

#### 4. Оценка истинного значения пикселей на основе СИФ

Изображением будем называть функцию  $I_{ij}$ , определенную на прямоугольнике  $[1..m] \times [1..n]$ , для которой

$$I_{ij} \in [0,1] \quad \forall i,j \in [1..m] \times [1..n]. \quad (7)$$

Обозначим через  $M$  пространство всех изображений с определенной на нем метрикой.

Для того, чтобы построить СИФ, введем в рассмотрение трехмерное аффинное преобразование  $w: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$

$$\omega(\bar{x}) = w \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & t \\ c & d & u \\ p & q & s \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \\ o \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где  $a, b, c, d, t, u, p, q, s, e, f, o$  – действительные числа и  $(x,y,z) \in \mathbb{R}^3$ .

Пусть трехмерное аффинное преобразование  $w_i$  определено на компактном подмножестве  $D_i$  прямоугольника  $[1..m] \times [1..n]$  и обладает свойством сжимаемости

$$\|w_i(\bar{x}) - w_i(\bar{y})\| \leq \alpha \cdot \|\bar{x} - \bar{y}\|, \quad (9)$$

где  $0 \leq \alpha < 1$ .

Конечная совокупность  $W: M \rightarrow M$

$$W(I) = \bigcup_{i=1}^N w_i(I) \quad (10)$$

сжимающих трехмерных аффинных преобразований  $w_i$ , определенных на областях  $D_i$ , таких, что  $w_i(D_i) = R_i$  и  $R_i \cap R_j = \emptyset \quad \forall i \neq j, i, j = 1, \dots, N$ , называется системой итерируемых функций и представляет собой сжимающее отображение, обладающее единственным аттрактором. Области  $R$  в дальнейшем будут именоваться ранговыми, а области  $D$  – доменными. Строгое описание теории СИФ можно найти, например, в [9].

Для кодирования изображения системой итерированных функций требуется определить параметры аффинных преобразований. Это выполняется на основе классической схемы [7], состоящей из следующих шагов (рис. 1):

1. **Сегментация изображения.** Исходное изображение разбивается на неперекрывающиеся ранговые блоки  $R$  размера  $N_r \times N_r$ .

**2. Формирование области поиска.** С прохождением по изображению с фиксированным шагом по горизонтали и вертикали, формируем набор доменных блоков, размер которых в два раза больше рангового. Разбивая каждый доменный блок на блоки  $2 \times 2$  пикселя и усредняя пиксели внутри каждого такого блока, уменьшаем размер доменного блока вдвое. После такой процедуры размеры доменных и ранговых блоков совпадают. Доменный блок может быть повернут на  $0, 90, 180$  или  $270^\circ$  и зеркально отражен. В результате формируется область поиска, состоящая из доменных блоков  $D$ . Обозначим через  $N_D$  общее число доменных блоков, составляющих область поиска.

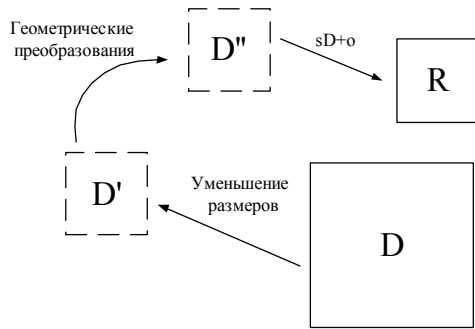


Рис. 1. Этапы построения СИФ

**3. Аппроксимация.** Каждый ранговый блок  $R_{kl}$  аппроксимируется блоком  $D_{pq}$  в виде

$$R_{kl} \approx s \cdot D_{pq} + o,$$

где  $k, l$  – координаты верхнего левого угла рангового блока;  $p, q$  – координаты верхнего левого угла доменного блока. Для этого минимизируется ошибка аппроксимации

$$e = \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} (s \cdot d_{ij} + o - r_{ij})^2, \quad (11)$$

где  $r_{ij}$  и  $d_{ij}$  – интенсивности пикселей блоков  $R_{kl}$  и  $D_{pq}$  соответственно.

Оптимальные коэффициенты  $s$  и  $o$  определяются формулами

$$s = \frac{N_r^2 \cdot \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} d_{ij} \cdot r_{ij} - \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} d_{ij} \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} r_{ij}}{N_r^2 \cdot \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} d_{ij}^2 - \left( \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} d_{ij} \right)^2} \quad (12)$$

и

$$o = \frac{1}{N_r^2} \left( \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} r_{ij} - s \cdot \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_r} d_{ij} \right). \quad (13)$$

Для соблюдения условия сжимаемости аффинного отображения  $w_{kl}$  необходимо выполнить условие

$$|s_{kl}| < 1 \quad \forall k, l. \quad (14)$$

Доменный блок, минимизирующий для рангового блока  $R_{kl}$  ошибку (11) при условии (14), обозначим  $D_{pq,kl}$ .

В результате формируется аффинное преобразование  $w_{kl}(I)$ , параметры которого описывают положение блока  $D_{pq,kl}$ , его масштабирование, возможный поворот и зеркальное отражение, сдвиг в позицию  $(k, l)$ , масштабирование по яркости с коэффициентом  $s$  и смещение по яркости на величину  $o$ . Совокупность преобразований  $w_{kl}$  составляет систему итерированных функций, кодирующих данное изображение.

Восстановление аттрактора осуществляется по итерационной схеме

$$I_{ij}^{n+1} = \frac{1}{|\Omega_{ij}|} \sum_{k,l \in \Omega_{ij}} w_{kl}(I^n), \quad (15)$$

где  $i, j$  – координаты пикселя,  $n$  – номер итерации,  $\Omega_{ij}$  – подмножество аффинных преобразований, таких, что

$$\begin{aligned} k &\leq i \leq k + N_r - 1, \\ l &\leq j \leq l + N_r - 1, \end{aligned}$$

$|\Omega_{ij}|$  – число элементов множества  $\Omega_{ij}$ .

Для уменьшения количества итераций, необходимых для восстановления аттрактора, в качестве первого приближения  $I^0$  выбирается зашумленное изображение. На практике достаточно трех-шести итераций.

Описанная выше схема определения параметров системы итерированных функций разрабатывалась для решения задачи сжатия изображений. Для решения задачи оценки предлагаются следующие модификации:

1. Доменные блоки формируются на основе изображения с предварительно подавленной импульсной помехой. Для этого можно использовать простой алгоритм, так как при масштабировании происходит дополнительное сглаживание изображения, что значительно снижает различия между различными алгоритмами фильтрации импульсных

помех. В данной работе использован следующий алгоритм:

$$\hat{I}_{i,j} = \frac{1}{|\Delta|} \sum_{x,y \in \Delta} I_{x,y}, \quad (16)$$

где  $(i,j)$  – координаты пикселя, искаженного импульсной помехой;  $\Delta$  – множество точек, не искаженных импульсной помехой и лежащих внутри окна размером  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$  с центром в пикселе  $(i,j)$ ;  $|\Delta|$  – число элементов множества  $\Delta$ . Аналогичный алгоритм использован в работе [10]. В дальнейшем этот алгоритм будет упоминаться как алгоритм предварительной фильтрации.

2. Для вычисления параметров  $s$  и  $o$  применяется только та часть рангового блока, которая не искажена импульсной помехой, т.е. формулы (11)-(13) записываются в виде

$$e = \sum_{i,j \in G} (s \cdot d_{ij} + o - r_{ij})^2, \quad (17)$$

$$s = \frac{|G| \cdot \sum_{i,j \in G} d_{ij} \cdot r_{ij} - \sum_{i,j \in G} d_{ij} \cdot \sum_{i,j \in G} r_{ij}}{|G| \cdot \sum_{i,j \in G} d_{ij}^2 - \left( \sum_{i,j \in G} d_{ij} \right)^2}, \quad (18)$$

$$o = \frac{1}{|G|} \left( \sum_{i,j \in G} r_{ij} - s \cdot \sum_{i,j \in G} d_{ij} \right), \quad (19)$$

где  $G$  – множество точек рангового блока  $R$ , не искаженных импульсной помехой;  $|G|$  – число элементов множества  $G$ , т.е. коэффициенты  $s$  и  $o$  вычисляются по той части рангового и доменного блоков, которая не искажена импульсной помехой. При восстановлении аттрактора по формуле (15), используя все элементы доменного блока, а не только элементы множества  $G$ , оцениваем значения всех элементов рангового блока. Следовательно, при кодировании изображения аттрактором IFS для оценки параметров применяются только пиксели, не искаженные импульсной помехой, а при восстановлении аттрактора – все пиксели. Это позволяет оценить истинные значения искаженных пикселей на основе неискаженных.

Заметим, что в результате восстановления аттрактора IFS получаем оценку не только пикселей, искаженных импульсными помехами, но и всех остальных пикселей. Так как минимизация ошибки

аппроксимации (17) осуществляется путем поиска самоподобных областей изображения на различных масштабах, а белый гауссов шум не обладает свойством самоподобия, то минимизация ошибки (17) обусловлена поиском самоподобных областей для сигнала. Это значит, что найденные параметры аффинных преобразований будут оценками соответствующих параметров для истинного изображения. Изображение, полученное в результате восстановления аттрактора, является оценкой истинного изображения. Качество оценки зависит от степени выраженности самоподобия на изображении. Следовательно, на основе зашумленных данных с использованием модели изображения может быть получена оценка истинного изображения, что и является задачей фильтрации. Предложенный метод позволяет осуществить совместную фильтрацию изображения, зашумленного гауссовым шумом и импульсными помехами, как точечного, так и строчного типов.

3. Использование двух предыдущих пунктов позволяет получить результаты, сходные с результатами, полученными после предварительной обработки. Для повышения качества оценки предлагается использовать перекрывающиеся ранговые блоки, т.е. для построения системы итерированных функций используются все ранговые блоки, верхние левые углы которых расположены в узлах сетки с шагом  $\Delta x \leq N_r$  и  $\Delta y \leq N_r$  по горизонтали и вертикали соответственно (рис. 2). Такой подход позволяет, кроме информации о самоподобии на разных масштабах (дальние корреляционные связи), учесть информацию о ближних корреляционных связях.

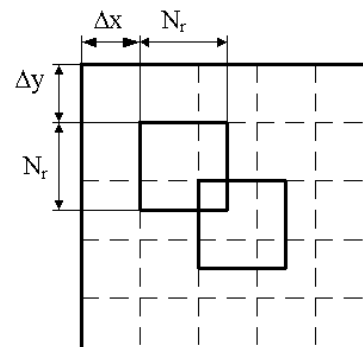


Рис. 2. Разбиение изображения на ранговые блоки

4. Описанная выше схема не гарантирует успешной аппроксимации всех ранговых блоков. В данной работе предлагается в качестве оценки истинного значения “плохо” аппроксимированного рангового блока (качество аппроксимации определяется по результатам сравнения ошибки аппроксимации с фиксированным порогом) использовать результат фильтрации зашумленного изображения другим алгоритмом фильтрации, т.е.

$$w_{kl}(I) = \begin{cases} w_{kl}(I), & e_{kl} < e_{th}, \\ w_{kl}(R_{kl}^f), & e_{kl} \geq e_{th}, \end{cases} \quad (20)$$

где  $e_{th}$  – фиксированный порог,  $e_{kl}$  – ошибка аппроксимации рангового блока  $R_{kl}$ , преобразование  $w_{kl}(R_{kl}^f)$  заменяет ранговый блок  $R_{kl}$  на блок  $R_{kl}^f$ , который вырезается из изображения, обработанного алгоритмом предварительной фильтрации и дополнительно фильтром, подавляющим аддитивный гауссов шум. В данной работе выбран OVSF алгоритм [11], так как он показывает хорошие результаты в текстурных областях и на границах, где в основном расположены плохо аппроксимированные ранговые блоки. Для этого алгоритма на основе численных результатов, полученных при восстановлении аттрактора для ряда тестовых изображений при разных значениях порога  $e_{th}$ , получено, что  $e_{th}$  следует выбирать из диапазона  $(1,5\sigma_0, 1,7\sigma_0)$ .

Аналогичный подход предложен в работе [12], однако в ней рассмотрен случай только импульсных помех и не использованы пункты 3 и 4, что не позволяет достигнуть существенного преимущества над существующими алгоритмами фильтрации импульсных помех.

## 5. Экспериментальные результаты

Предложенный алгоритм тестировался на изображениях, показанных на рис. 3. На рис. 4 изображены часть тестового изображения (рис. 4,а), искаженное изображение (рис. 4,б), модули разности между отфильтрованным и истинным изображением при обработке алгоритмом предварительной фильтрации и OVSF (рис. 4,в) и предложенного метода (рис. 4,г). Все изображения приведены к одинаковому масштабу яркости. Темные области на рис. 4,в, 4,г соответствуют малой ошибке фильтрации, светлые – большой. Видно, что применение предложенного алгоритма снижает ошибку фильтрации. На рис. 5 показаны аналогичные изображения для изображения на рис. 3,б. Видно, что предложенный метод выигрывает как при фильтрации импульсной помехи, так и при фильтрации белого гауссова шума.



а



б

Рис. 3. Тестовые изображения

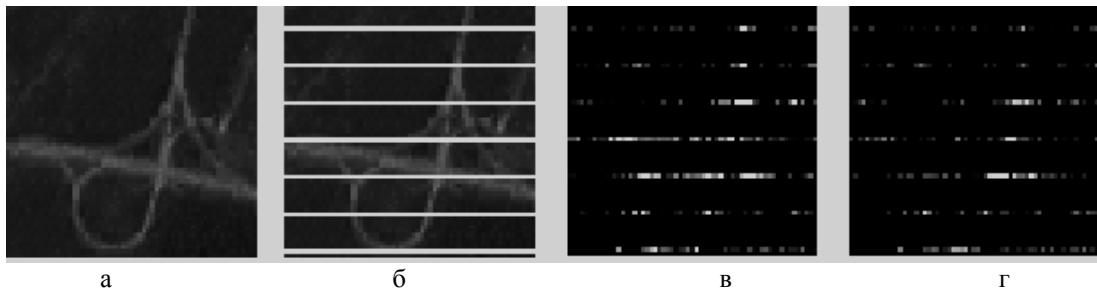


Рис. 4. Результат фільтрації зображення на рис. 3,а: а - вихідне зображення б - іскажене зображення, в - модуль різниці між відфільтрованим і істинним зображенням при обробці алгоритмом попередньої фільтрації і OVSF, г - для запропонованого методу

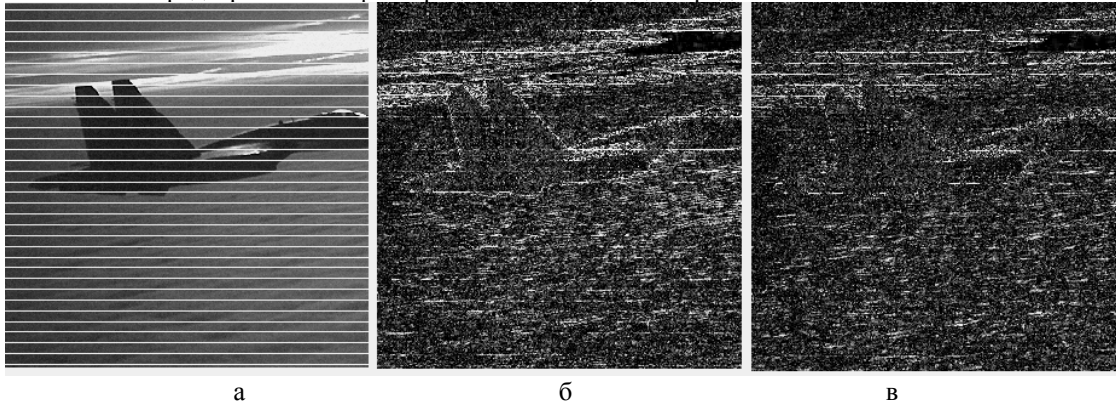


Рис. 5. Результат фільтрації зображення на рис. 3,б: а - іскажене зображення, б - модуль різниці між відфільтрованим і істинним зображенням при обробці алгоритмом попередньої фільтрації і OVSF, в - для запропонованого методу

Количесвенно ефективність роботи запропонованого фільтра оцінювали, використовуючи середньквадратичну помилку [2]:

$$СКО = \sqrt{\frac{1}{|\Omega|} \sum_{i,j \in \Omega} [I_{ij} - I_{ij}^f]^2}, \quad (21)$$

де  $|\Omega|$  - розмір множини відповідей,  $I_{ij}$  - незашумлене значення зображення в позиції  $(i,j)$ ,  $I_{ij}^f$  - оброблене значення зображення в позиції  $(i,j)$ .

Количесвенні критерії повинні характеризувати якість подавлення шуму, якість збереження границь і малих деталей і якість оцінки істинного значення пікселів, іскажених імпульсною помехою. Для цього критерій СКО вичислявся в трьох варіантах: 1) СКО - для всього зображення, 2) СКО<sub>е</sub> - для граничних і текстурних областей зображення, 3) СКО<sub>і</sub> - для пікселів, іскажених імпульсною помехою.

Табл. 1 і 2 містять результати порівняння запропонованого фільтра ( $N_f=6$ ,  $\Delta x=\Delta y=2$ ,  $N_D=2000$ ), мо-

дифіцированного сигма-фільтра (MSF) [1], OVSF-фільтра і DWMTM-фільтра [2]. Розмір вікна для всіх фільтрів вибрано  $5 \times 5$ . Фільтри реалізовані в скалярному варіанті. В табл. 1 наведені численні результати фільтрації тестового зображення на рис. 3,а, іскаженого імпульсними помехами точечного типу ( $P_i=1\%$ ) і помехою строчного типу (повністю іскажена кожна 10-я строка). В цьому випадку досліджувалося тільки якість оцінки істинного значення пікселів, іскажених імпульсною помехою. Результати фільтрації тестового зображення на рис. 3,б, іскаженого адитивним гауссовим шумом ( $\sigma^2=25$ ) і імпульсними помехами (аналогічно попередньому випадку), наведені в табл. 2. Так як в роботі не досліджується якість роботи детектора імпульсних помех, то в тестових випадках для всіх фільтрів інформація про розташування імпульсних помех вважалася відомою. Для зашумлених зображень наведено тільки СКО адитивного шуму.

Таблица 1  
Результаты обработки изображения на рис. 3,а

Тип фильтра	СКО <sub>i</sub>
MSF	7,53
Предварительная фильтрация+OVSF	6,25
Предложенный метод	5,22

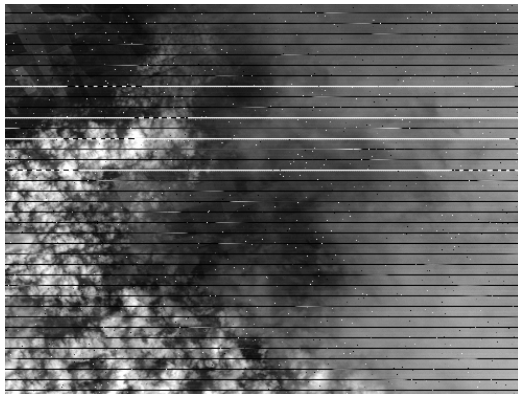
Таблица 2

Результаты обработки изображения на рис. 3,б

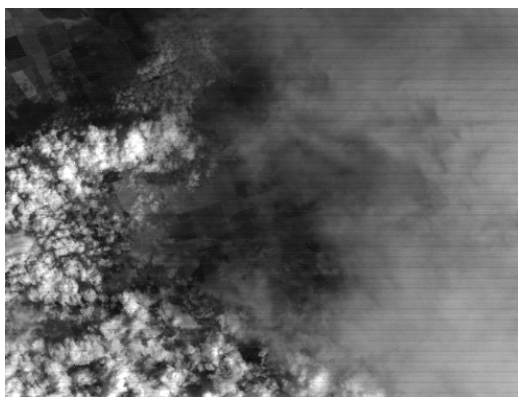
Тип фильтра	СКО	СКО <sub>с</sub>	СКО <sub>i</sub>
Зашумленное изображение	5,15	5,12	-
DW-MTM	6,08	23,2	13,6
MSF	5,62	13,2	13,6
Предварительная фильтрация+OVSF	4,8	11,6	11,0
Предложенный метод	4,29	9,1	9,6

Результаты, приведенные в табл. 1 и 2, показывают, что предложенный метод обладает лучшими показателями среди выбранных для сравнения методов фильтрации как при подавлении аддитивного гауссова шума, так и при оценке истинного значения пикселей, искаженных импульсной помехой.

На рис. 6,а показано реальное изображение, полученное с космического аппарата "Океан-У". Изначально на изображении присутствовали только строчные помехи.



а



б



в

Рис. 6. Пример обработки реального изображения

Для проверки качества работы алгоритма были добавлены также импульсные помехи точечного типа ( $P_i=1\%$ ). На рис. 6,б показан результат фильтрации. Изменение яркости по строкам является не следствием работы предложенного метода, а дефектом изображения, который стал заметен после устранения импульсных помех. На рис. 6,в показан результат обнаружения импульсных помех описанным выше методом. Белый цвет соответствует импульсной помехе, черный – ее отсутствию.

### Заключение

Таким образом, в данной работе экспериментально показана возможность использования теории систем итерированных функций для фильтрации изображений в присутствии помех различного типа. Предложенный метод позволяет повысить качество фильтрации по сравнению с рядом известных алгоритмов. Это достигается благодаря совместному использованию ближних и дальних (проявляющихся как самоподобие изображения на различных масштабах) корреляционных связей.

### Литература

1. Modified sigma filter for processing of images corrupted by multiplicative and impulsive noises / V. V. Lukin, N. N. Ponomarenko, A. A. Zelensky et al. // Proc. of EUSIPCO-96, Trieste, Italy. - 1996. - Vol. III. - P. 1909 – 1912.



2. Lee Y. H. Generalized Median Filtering and Related Nonlinear Filtering Techniques / Y. H. Lee, S.A. Kassam // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. - June 1985. - Vol. ASSP-33. - P. 672-683.
3. Цымбал О.В. Устранение на радиолокационных изображениях импульсного шума, возникающего при приеме информации со спутников // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х., Нац. аерокосм. ун-т “ХАИ”, 1999. - №14. - С. 132-135
4. Abreu E., Lightstone M., Mitra S. and Arakawa K. A new efficient approach for the removal of impulse noise from highly corrupted images // IEEE Trans. On Image Processing 5. - June 1996.- P. 1012 – 1025.
5. Wang Z., Zhang D. Progressive Switching Median Filter for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images // IEEE Transactions on Circuit and System II: Analog and Digital Signal Processing. - Jan. 1999. - Vol. 46. - №. 1. - P. 78-80,
6. Lukac R. Adaptive Impulse Noise Filtering by Using Center-Weighted Directional Information // Proceedings of CGIV 2002 in Poitiers. France.
7. Saupe D. Fractal Models for Image Synthesis, Encoding and Analysis / D. Saupe, J. Hart // SIGGRAPH '96 Course Notes XX, New Orleans, Aug. 1996.
8. Потапов А. А. Фракталы в дистанционном зондировании // *Успехи современной радиоэлектроники*. – 2000. - №6. - С. 3-65.
9. Фрактальное сжатие изображений по Барнсли-Слоану / В.А. Бондаренко, В.Л. Дольников // *Автоматика и телемеханика*. - 1994. - №5. - С.12-20.
10. Ganapati Panda and Sanjay Kumar Maharatha Efficient Filtering of Image Data Corrupted by Impulse Noise // International Conference on Signal Processing Applications and Technology, 1996.
11. Усс М.Л. Векторный локально-адаптивный фильтр для обработки изображений в формате RGB // *Авиационно-космическая техника и технология*. - Х., ХАИ, 2002. - Вып. 35. - С. 83-88.
12. Haseyama M. An Image Restoration Method Using IFS / M. Haseyama, M. Takezawa, K. Kondo, H. Kitajima // Proc. of ICIP 2000. Vancouver, Canada. - 2000. - Vol. III. - P. 1249-1253.

*Поступила в редакцию 12.04.03*

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. Лукин В.В, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, г. Харьков.