

---

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков, И.В. Рубан, О.В. Водолажко, В.А. Павлий

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## УНИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА ИЗОБРАЖЕНИЙ

*В статье предлагается унифицированный метод фильтрации одиночного и группового импульсного шума изображений, основанный на использовании статистических и детерминированных критериев исключения экстремальных наблюдений, применение которого позволяет адекватно сглаживать импульсный шум, как для внутренности, так и для границ изображений объектов.*

**Ключевые слова:** изображение, экстремальное наблюдение, импульсный шум, фильтр, маска, окрестность.

### **Введение**

Одной из важнейших задач, решаемых в ходе предобработки входного изображения, является за-

дача фильтрации (сглаживания) шума [1, 2], поскольку от эффективности ее решения во многом зависит эффективность решения задач сегментации и распознавания изображений [3 – 6].

Фильтрация шума, выполняемая на этапе предобработки входного изображения, служит, главным образом, для того, чтобы сгладить такой шум, наличие которого приводит к неустойчивости сегментации изображений [7]. Поэтому при проведении фильтрации, как правило, требуется обнаруживать и сглаживать импульсный шум [1, 2], наличие которого приводит к неустойчивости методов сегментации изображений в смысле появления ложных объектов и контуров объектов при сегментации.

Существующие методы фильтрации импульсного шума [1, 2, 4, 6] адекватно сглаживают шум во внутренности, но, как правило, неадекватно на границе изображения объекта, поскольку сглаживание производится на множестве яркостей неоднородной окрестности, содержащей пиксели объекта, шум и пиксели фона одновременно [8, 9].

Для решения этой проблемы в статье предлагается унифицированный метод фильтрации одиночного и группового импульсного шума изображений, основанный на использовании введенных в работах [8, 9] критериев и методов обнаружения и исключения экстремальных наблюдений.

## 1. Обобщенный унифицированный метод фильтрации импульсного шума

В обобщенном виде предлагаемый метод фильтрации импульсного шума изображений представлен на рис. 1.

Предварительно применению этого метода формируются требования к качеству и эффективности фильтрации импульсного шума. На основе анализа этих требований определяются те критерии и методы, которые будут использоваться для решения задач обнаружения потенциально зашумленных окрестностей, идентификации и исключения экстремальных наблюдений, сглаживания импульсного шума. В результате определяется наиболее эффективная для решения поставленной задачи спецификация метода фильтрации импульсного шума.

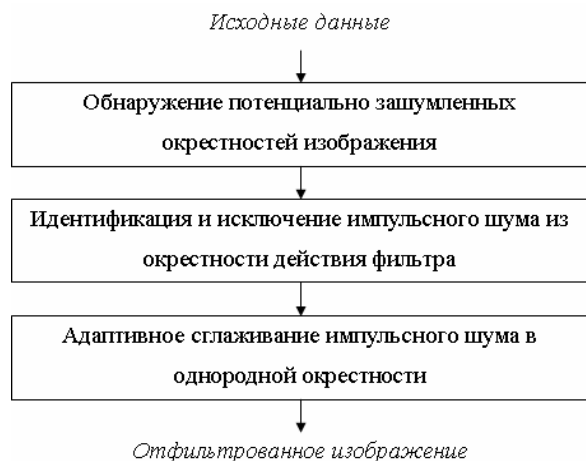


Рис. 1. Обобщенный унифицированный метод фильтрации импульсного шума изображений

Возможность выбора различных спецификаций является важнейшим достоинством предложенного метода фильтрации импульсного шума изображений, поскольку без изменения структуры этот метод может настраиваться на наиболее эффективную реализацию в зависимости от особенностей обрабатываемых изображений и требований по трудоемкости и устойчивости к их обработке.

В качестве исходных данных методу фильтрации импульсного шума изображений передаются:

- 1) входное изображение;
- 2) параметры критериев и методов, которые будут использоваться в рамках заданной спецификации метода фильтрации импульсного шума, например, размер маски фильтра  $\varepsilon$ , предельный размер группового шума  $s^*$  [8, 9].

## 2. Обнаружение потенциально зашумленных окрестностей изображения

Фильтрация шума, выполняемая на этапе предобработки входного изображения, служит, главным образом, для обнаружения и сглаживания импульсного шума, наличие которого приводит к неустойчивости сегментации изображений [7]. В большинстве практически значимых случаев [1, 2] суммарная площадь импульсного шума минимум на два порядка меньше площади входного изображения.

В таких условиях неизбирательное применение методов исключения экстремальных наблюдений [8, 9] и методов фильтрации ко всем пикселям входного изображения приводит к значительному росту общей трудоемкости фильтрации, поскольку многие из этих методов по порядку величины оцениваются трудоемкостью  $T(n) = n^2$  операций сравнения на одно положение маски фильтра.

В таких условиях предварительное проведение фильтрации предлагается применить относительно грубый, но вычислительно эффективный критерий обнаружения потенциально зашумленной окрестности, позволяющий оперативно идентифицировать лишь те окрестности входного изображения, где может наблюдаться импульсный шум.

Для этих целей в работе предлагается использовать  $k \cdot \sigma$ -критерий вида

$$(x_i - m_\sigma) > k_\sigma \cdot s_\sigma \quad (1)$$

предложенный в [8], метод применения которого состоит в следующем.

**Метод 1.** Метод обнаружения потенциально зашумленной окрестности входного изображения.

Шаг 1. На первом этапе оцениваются математические ожидания  $m_i$  и дисперсии  $\sigma_i^2$  во всех положениях маски фильтра заданной размерности на входном изображении [8]. В результате получается распределение дисперсий  $\{x_i\}_i = \{\sigma_i\}_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Шаг 2. Находятся оценки математического ожидания  $m_\sigma$  и дисперсии  $s_\sigma^2$  ряда  $\{x_i\}_i = \{\sigma_i\}_i$  [8].

Шаг 3. По этим оценкам находится соответствующее значение параметра  $k_\sigma = k(m_\sigma, s_\sigma)$ , которое должно использоваться в  $k \cdot \sigma$ -критерии [8].

Шаг 4. В процессе сканирования входного изображения маской фильтра заданной размерности отмечаются те ее положения, для которых выполняется  $k \cdot \sigma$ -критерий (1).

Шаг 5. Конец.

Применение этого метода приведет к обнаружению таких окрестностей входного изображения, которые содержат импульсный шум, а также окрестностей, которые характеризуются средним высоким уровнем зашумления и окрестностей со значимым перепадом яркости, расположенных на границе изображения объекта с фоном.

Уже в дальнейшем необходимо будет идентифицировать, и сглаживать импульсный шум в рамках таких окрестностей.

На третьем шаге метода обнаружения потенциально зашумленной окрестности входного изображения значение коэффициента  $k$  находится однократно для всех окрестностей снимка по правилу  $k = k(m_\sigma, s_\sigma)$ . Значение этого коэффициента может находиться индивидуально для окрестности по правилу  $k = k(m, \sigma)$ . В такой ситуации шаг 3 метода будет реализовываться на итерациях сканирования входного изображения предварительно применению критерия (1) в рамках шага 4.

Построение правила нахождения коэффициента  $k$  производится на этапе обучения. Это правило строится так, чтобы давать наилучшее решение задаче фильтрации импульсного шума по заданным критериям качества фильтрации.

### 3. Идентификация и исключение импульсного шума из окрестности действия фильтра

Для идентификации и исключения импульсного шума из рассматриваемой окрестности действия фильтра в качестве основного будем использовать унифицированный метод исключения импульсного шума, предложенный в [9], поскольку этот метод позволяет адекватно и эффективно обнаруживать и удалять одиночные и групповые импульсные шумы из рассматриваемой окрестности в различных условиях зашумления входного изображения. Обозначим этот метод для целей последующего использования **Метод 2**.

### 4. Адаптивное сглаживание импульсного шума в однородной окрестности

Для обеспечения адекватности фильтрации импульсного шума во внутренней и на границе изо-

бражения объекта предлагается следующий унифицированный метод.

**Метод 3.** Унифицированный метод сглаживания импульсного шума в однородной окрестности.

Допустим, что в результате применения методов 1 и 2 обнаружено множество  $G$  пикселей входного изображения, которое признано нетипично экстремальным импульсным шумом, и его яркости требуется сгладить.

Предположим, что для множества  $G$  определена его внешняя  $\sqrt{2}$ -окрестность  $H$ , составленная без пикселей множества  $G$  [9].

Шаг 1. Оценим дисперсию ряда яркостей пикселей множества  $H$ .

Если не выполняется критерий (1), значит, множество  $H$  является однородным множеством, состоящим из пикселей внутренности изображения объекта, переход к шагу 3.

В противном случае неоднородное множество  $H$  необходимо привести к однородному множеству, переход к шагу 2.

Шаг 2. Применим к яркостям пикселей множества  $H$  заданный метод исключения экстремальных наблюдений, использование которого доставляет наилучшее решение задаче фильтрации импульсного шума по заданному критерию; по умолчанию для этой цели будем применять  $k \cdot \sigma$ -метод [8].

По результатам исключения экстремальных наблюдений удалим из множества  $H$  пиксели с нетипично экстремальными значениями яркостями.

Шаг 3. Для сглаживания яркостей пикселей импульсного шума  $G$  используется такой фильтр, применение которого доставляет наилучшее решение задаче фильтрации импульсного шума по заданному критерию с учетом заданных требований по трудоемкости.

По умолчанию будем сглаживать яркости пикселей множества  $G$  по одной с использованием среднеарифметического фильтра [10] и маски фильтра размерностью  $3 \times 3$ , учитывая при этом лишь яркости пикселей множества  $H$ , которое на этом этапе является однородным.

При относительно большом по площади множестве  $G$  и малом числе пикселей множества  $H$  может получиться так, что при сглаживании пикселей множества  $G$  маска фильтра размерностью  $3 \times 3$  не будет содержать пикселей из множества  $H$ . В такой ситуации увеличим радиус маски на единицу и применим заданный фильтр.

Шаг 4. Конец.

В результате применения этого метода, подавляющее количество одиночных и групповых шумов во внутренней окрестности изображения объекта будет сглажено оптимальным образом в смысле заданного критерия качества фильтрации, а незначительное количество шумов на границах изображений объек-

тов и на объектах линейного вида будут сглажены, по крайней мере, адекватно.

В силу указанных свойств метод 3 будем использовать в качестве основного метода сглаживания импульсного шума изображений.

## 5. Основная спецификация обобщенного унифицированного метода фильтрации импульсного шума изображений

Обобщенный унифицированный метод фильтрации импульсного шума изображений, представленный на рис. 1, в своей основной спецификации представляется в следующем виде (рис. 2).



Рис. 2. Основная спецификация обобщенного унифицированного метода фильтрации импульсного шума изображений

Метод 1 выбран для обнаружения потенциально зашумленных окрестностей изображения из-за своей высокой вычислительной эффективности.

Метод 2 выбран для идентификации и исключения импульсного шума потому, что этот метод является унифицированным методом фильтрации одиночных и групповых импульсных шумов.

Метод 3 выбран для сглаживания импульсного шума потому, что этот метод позволяет адекватно сглаживать одиночные и групповые импульсные шумы во внутренней и на границе изображения объекта в различных условиях зашумления за счет применения специального метода, позволяющего идентифицировать и привести неоднородную окрестность действия фильтра к однородной окрестности.

## 6. Общая оценка трудоемкости предложенного метода фильтрации импульсного шума

Трудоемкость использования методов исключения и сглаживания импульсного шума (методы 2 и 3), которые применяются в основной специфика-

ции обобщенного метода фильтрации импульсного шума изображений, оценивается по порядку величины значением  $T(n) = k \cdot n^2$  операций сравнения для одного положения маски фильтра.

Однако, учитывая, что:

1) параметр  $n$ , как правило, равен 9,

2) в большинстве практически значимых случаев суммарная площадь импульсного шума на изображении не превышает 1%, основной вклад в общую трудоемкость фильтрации будет вносить трудоемкость обнаружения потенциально зашумленных окрестностей изображения, которая оценивается величиной  $T(n) = 2 \cdot n$  операций сравнения на одно положение маски фильтра.

В результате общая трудоемкость фильтрации импульсного шума для одного положения маски фильтра будет оцениваться величиной  $T(n)$ , где

$$2 \cdot n \leq T(n) \leq 3 \cdot n \text{ операций сравнения. (2)}$$

Оценки трудоемкости большинства существующих методов фильтрации варьируются в диапазоне от величины  $T(n) = n$  – для линейных и взвешенных фильтров, до величины  $T(n) = n^2$  – для медианного фильтра. Соответствующие этим оценкам функциональные зависимости трудоемкости для наиболее используемых размеров маски фильтра ( $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ) представлены на рис. 3.

Анализируя полученные оценки трудоемкости и качество фильтрации импульсного шума в комплексе можно сделать вывод о том, что предложенный метод позволяет адекватно идентифицировать и сглаживать одиночные и групповые импульсные шумы как во внутренней, так и на границе изображения объекта в различных условиях зашумления при приемлемой трудоемкости, – всего в три раза большей минимальной оценки трудоемкости существующих методов фильтрации.

## Выводы

На основе использования результатов работ [8, 9, 10] в статье предложен обобщенный унифицированный метод фильтрации импульсного шума изображений, который, за счет выбора различных спецификаций без изменения структуры может настраиваться на наиболее эффективную фильтрацию импульсного шума в зависимости от особенностей обрабатываемых изображений и требований по трудоемкости и устойчивости к их обработке.

Для эффективной реализации этапов обобщенного метода фильтрации в статье предложены методы обнаружения потенциально зашумленных областей изображения (метод 1), идентификации и исключения импульсных шумов (метод 2), а также сглаживания импульсного шума (метод 3).

В совокупности эти частные методы определяют основную спецификацию обобщенного унифицированного метода фильтрации импульсного шума, позволяющую адекватно сглаживать одиночные и групповые импульсные шумы во внутренности и на границе изображения объекта в различных условиях зашумления за счет реализации адаптивного метода построения однородной окрестности действия фильтра. Полученные оценки трудоемкости доказывают вычислительную эффективность предложенного метода фильтрации импульсного шума.

### 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. 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.
8. Смеляков К.С. Построение статистических методов исключения экстремальных наблюдений для обеспече-

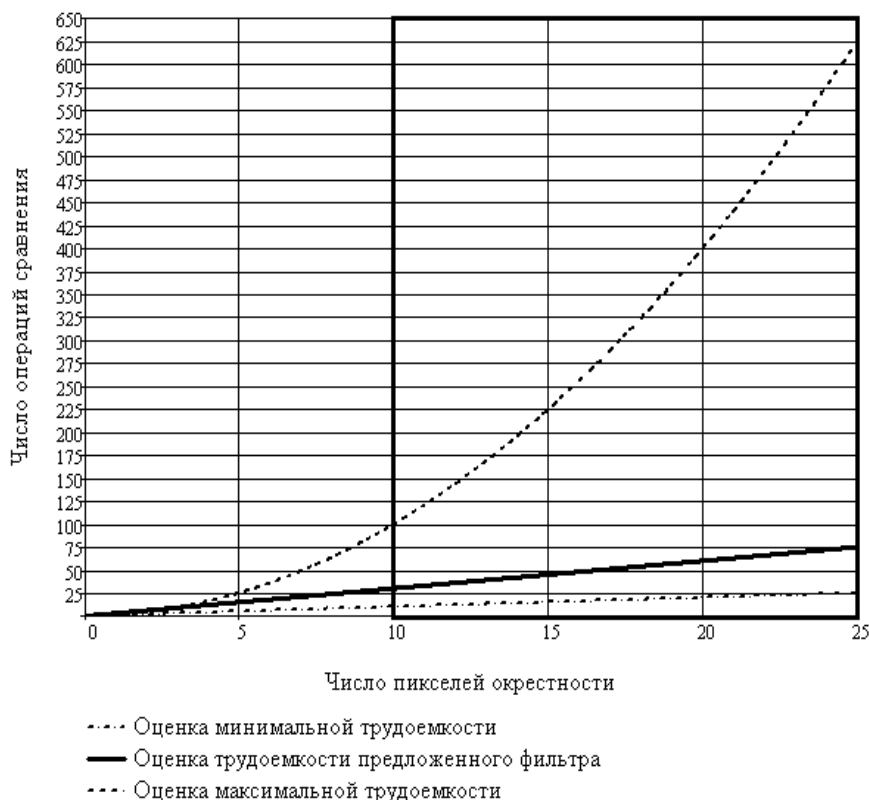


Рис. 3. Предельные оценки трудоемкости фильтрации импульсного шума изображений для одного положения маски фильтра

ния адекватного применения пространственных фильтров шума изображений / К.С. Смеляков, О.В. Водолажко, С.В. Смеляков, С.В. Осиевский // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 4 (111). – С. 35-41.

9. Смеляков К.С. Построение унифицированного метода исключения импульсного шума для обеспечения адекватного применения пространственных фильтров шума изображений / К.С. Смеляков, И.В. Рубан, С.В. Осиевский, О.В. Водолажко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 1 (33). – С. 129-132.

10. Смеляков К.С. Анализ эффективности применения пространственных фильтров шума / К.С. Смеляков, И.В. Рубан, С.В. Осиевский, О.В. Водолажко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 1 (10). – С. 181-188.

Поступила в редколлегию 22.07.2013

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

### УНІФІКОВАНИЙ МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ІМПУЛЬСНОГО ШУМУ ЗОБРАЖЕНЬ

К.С. Смеляков, І.В. Рубан, О.В. Водолажко, В.О. Павлій

У статті пропонується уніфікований метод фільтрації одиночного і групового імпульсного шуму зображень, заснований на використанні статистичних і детермінованих критеріїв виключення екстремальних спостережень, застосування якого дозволяє адекватно згладжувати імпульсний шум, як для внутрішності, так і для границь зображень об'єктів.

**Ключові слова:** зображення, екстремальне спостереження, імпульсний шум, фільтр, маска, окіл.

### A UNIFIED METHOD FOR FILTERING AN IMAGE PULSE NOISE

K.S. Smelyakov, I.V. Ruban, O.V. Vodolazhko, V.A. Pavliy

A unified method is proposed for filtering an image pulse noise of solitary and group nature, which is based on use of statistical and deterministic criteria for exclusion of outliers. Making use of this method allows us to smooth a pulse noise adequately, both in the internal part of an object, and at the edge.

**Keywords:** image, outlier, pulse noise filter, mask, vicinity.