

УДК 355.233.1.005

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

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ПОСТРОЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ИСКЛЮЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДЕКВАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ШУМА ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье предлагается унифицированный детерминированный метод исключения одиночных и групповых экстремальных наблюдений, отождествляемых с импульсным шумом, применение которого позволяет обеспечивать возможность адекватного сглаживания импульсного шума, как для внутренности, так и для границ изображений объектов.

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

### 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]. Важное место среди методов фильтрации шума занимают методы пространственной фильтрации шума, основанные на использовании масок [2]. Однако результаты применения таких методов фильтрации для некоторых областей (окрестностей) входного изображения могут быть неадекватными [2, 5, 6].

Так, если множество яркостей пикселей рассматриваемой при фильтрации окрестности является однородным, то есть целиком принадлежит или объекту, или фону и, если в этой окрестности нет импульсного шума, тогда результаты применения сглаживающего фильтра к такой однородной окрестности являются адекватными [8, 9]. Однако если условие однородности нарушается (из-за того, что одна часть пикселей окрестности принадлежит объекту, а другая часть фону или, если в окрестности наблюдается импульсный шум), тогда результаты применения сглаживающего фильтра к неоднородной окрестности могут быть неадекватными.

В этом отношении в статье решается **актуальная задача** разработки унифицированного метода исключения экстремальных наблюдений, применение которого позволит эффективно идентифицировать и исключать из окрестности действия фильтра одиночные и групповые импульсные шумы. Решение этой задачи даст возможность адекватно применять сглаживающие фильтры шума на однородном множестве яркостей пикселей окрестности, что, в свою очередь, позволит обеспечить эффективность сегментации изображений объектов на снимке.

Допустим, что результаты  $n$  наблюдений (значений яркости в заданной окрестности действия фильтра) представляются множеством точек

$$X = \{x_{\xi}\}_{\xi=1, \dots, n} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

и выдвинем гипотезу  $H$  о том, что среди них присутствуют экстремальные наблюдения, отвечающие импульсному шуму, которые необходимо исключить из ряда (1) как нетипичные.

Для выработки единого подхода к применению статистических и детерминированных критериев исключения экстремальных наблюдений будем полагать, что исходные данные (1) представляются упорядоченным по возрастанию рядом яркостей

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n. \quad (2)$$

### Основной раздел

#### 1 Применение критерия идентификации точечного импульсного шума

Итак, предположим, что для некоторого пикселя  $d(\xi, \eta)$  определена его  $\sqrt{2}$ -окрестность

$$O_{\sqrt{2}}(d(\xi, \eta)),$$

размерностью  $3 \times 3$ , яркости пикселей которой представлены рядом вида (2).

Для обнаружения максимального точечного импульсного шума в пикселе  $d(\xi, \eta)$  проверяется выполнение условия

$$[f(\xi, \eta) = x_n] \wedge [(x_n - x_{n-1}) > T]. \quad (3)$$

Если условие (3) выполняется, тогда считается, что гипотеза  $H$  подтвердилась

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } [f(\xi, \eta) = x_n] \wedge [(x_n - x_{n-1}) > T], \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (4)$$

и наблюдение  $f(\xi, \eta) = x_n$  необходимо исключить из (2) как нетипичное.

Для обнаружения минимального точечного импульсного шума в пикселе  $d(\xi, \eta)$  проверяется выполнение условия

$$[f(\xi, \eta) = x_1] \wedge [(x_2 - x_1) > T]. \quad (5)$$

Если условие (5) выполняется, тогда считается, что гипотеза  $H$  подтвердилась

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } [f(\xi, \eta) = x_1] \wedge [(x_2 - x_1) > T], \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (6)$$

и наблюдение  $f(\xi, \eta) = x_1$  необходимо исключить из (2) как нетипичное. Назовем описанный пороговый критерий  $Th$ -критерием.

## 2 Применение критерия идентификации группового импульсного шума

Под групповым импульсным шумом будем понимать связанное множество пикселей площадью  $s$ ,  $s \leq s^*$ , экстремальное по заданному критерию.

Исходя из анализа яркости и размеров наблюдаемых групповых шумов на изображениях, если специально не оговорено иное, будем полагать, что:

1) пиксели группового импульсного шума, рассматриваемые по отдельности, являются импульсными шумами по отношению к не импульсным шумам в своей окрестности, что может быть установлено с использованием критериев (3) и (5);

2) площадь  $s$  группового импульсного шума не превышает 3,  $1 < s \leq 3$ ;

3) групповой импульсный шум может быть локализован в окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$ , при  $\varepsilon = \sqrt{2}$ .

Предположим, что в рамках окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$  задано связанное множество  $G$  из  $s$  пикселей. Построим  $\sqrt{2}$ -окрестность  $H$  границы множества  $G$ , и удалим из  $H$  пиксели множества  $G$ .

Найдем минимальную яркость  $x_G$  пикселя множества  $G$  и максимальную яркость  $x_H$  пикселя множества  $H$ . В таких условиях для обнаружения максимального группового импульсного шума  $G$ , локализованного в окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$ , проверяется выполнение условия

$$[x_G > x_H] \wedge [(x_G - x_H) > T]. \quad (7)$$

Если условие (7) выполняется, тогда считается, что гипотеза  $H$  подтвердилась

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } [x_G > x_H] \wedge [(x_G - x_H) > T], \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (8)$$

и множество  $G$  необходимо исключить из окрестности как нетипичное.

Для обнаружения минимального группового импульсного шума найдем максимальную яркость  $x_G$  пикселя множества  $G$ , минимальную яркость  $x_H$  множества  $H$  и проверим выполнение условия

$$[x_G < x_H] \wedge [(x_H - x_G) > T]. \quad (9)$$

Если условие (9) выполняется, тогда считается, что гипотеза  $H$  подтвердилась

$$H = \begin{cases} 1, & \text{if } [x_G < x_H] \wedge [(x_H - x_G) > T], \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (10)$$

и множество  $G$  необходимо исключить из окрестности как нетипичное. Назовем описанный пороговый критерий  $Ths$ -критерием.

## 3 Унифицированный метод исключения импульсного шума

Для возможности применения предложенных выше критериев предлагается следующий унифицированный метод исключения импульсного шума.

Унифицированный метод исключения одиночных и групповых импульсных шумов площадью  $s$ , локализованных в окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$ ,  $\varepsilon = \sqrt{2}$ , с площадью  $s_\varepsilon$ ,  $s_{\sqrt{2}} = 9$ ,  $s \leq s^* \leq s_\varepsilon$  ( $Ths$ -метод).

Если пиксель  $d(\xi, \eta)$  входного изображения отмечен как исключенный, переход к шагу 7. В противном случае строится упорядоченный по возрастанию ряд яркостей пикселей окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$  вида (2).

**Этап 1.** Исключение максимального импульсного шума.

Шаг 1. Множество  $G$  формируется из таких пикселей окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$ , яркость которых не ниже яркости  $f(\xi, \eta)$ , определяется площадь  $s$  множества  $G$ .

Шаг 2. Если выполняется условие  $s \leq s^*$ , тогда переход к шагу 3, а иначе – к шагу 4.

Шаг 3. Определяется минимальная яркость  $x_G = x_{n-s+1}$  пикселя  $G$ ; строится множество  $H$  и определяется максимальная яркость  $x_H$  пикселя  $H$ .

Если выполняется условие (7), тогда пиксели множества  $G$  отмечаются как исключаемые, переход к шагу 7. Иначе переход к шагу 4.

**Этап 2.** Исключение минимального импульсного шума.

Шаг 4. Множество  $G$  формируется из таких пикселей окрестности  $O_\varepsilon(d(\xi, \eta))$ , яркость которых не выше яркости  $f(\xi, \eta)$ , определяется площадь  $s$  множества  $G$ .

Шаг 5. Если выполняется ограничение  $s \leq s^*$ , тогда переход к шагу 6, а иначе – к шагу 7.

Шаг 6. Определяется максимальная яркость  $x_G = x_{1+s-1}$  пикселя  $G$ ; строится множество  $H$  и определяется минимальная яркость  $x_H$  пикселя  $H$ .

Если выполняется условие (9), тогда пиксели множества  $G$  отмечаются как исключаемые.

Шаг 7. Конец.

После применения  $Ths$ -метода координаты исключенных сохраняются, а сами исключенные пиксели отмечаются для того, чтобы не проводить повторных исключений.

## 4 Анализ эффективности применения $Ths$ -метода

Использование предложенного  $Ths$ -метода позволяет решить проблему неадекватного сглаживания одиночного и группового импульсного шума,

особенно актуальную для обеспечения устойчивой сегментации изображений объектов на снимке. Однако применять этот метод, в том числе, для минимизации общей трудоемкости фильтрации шума, имеет смысл избирательно, лишь для неоднородных фрагментов входного изображения, отвечающих значимо зашумленной окрестности изображения.

В связи с необходимостью сортировки ряда (1) для построения упорядоченного ряда (2) трудоемкость применения описанных выше критериев и методов по порядку величины оценивается величиной  $T(n) = n^2$  операций сравнения, поскольку для сортировки выборок малого размера чаще всего используется пузырьковая сортировка [10]. Таким образом, для возможности эффективного исключения импульсного шума актуальной является разработка эффективного критерия идентификации неоднородной окрестности входного изображения.

### 5 Критерий идентификации неоднородной области изображения

Для обнаружения неоднородной окрестности входного изображения предлагается использовать следующий критерий идентификации. Получим распределение вида (1) для дисперсий  $x_i = \sigma_i$  во всех положениях маски фильтра на изображении. Найдем оценки математического ожидания  $m_\sigma$  и дисперсии  $s_\sigma^2$  ряда (1). Будем полагать, что значения дисперсии в ряду (1) значимо уклоняются от среднего  $m_\sigma$ , если выполняется  $k$ - $\sigma$ -критерий вида

$$(x_i - m_\sigma) > k_\sigma \cdot s_\sigma. \quad (11)$$

Соответственно, при фильтрации шума неоднородными будем считать только такие окрестности, для которых выполняется критерий (11); иначе будем полагать, что распределение яркости в окрестности действия фильтра является однородным.

Применение критерия (24) приведет к идентификации окрестностей с импульсным шумом, а также окрестностей со средним высоким уровнем зашумления и окрестностей со значимым перепадом яркости, расположенных на границе объекта с фоном. Уже в дальнейшем необходимо будет классифицировать тип окрестности, идентифицированной по критерию (24), с целью принятия адекватного решения о применении того, или иного метода фильтрации в этой окрестности.

При решении большинства практических задач число положений маски фильтра с неоднородным распределением яркости, идентифицированных по критерию (11), минимум на два порядка меньше числа положений маски с однородным распределением яркости. Применение критерия (11) для одного положения маски фильтра требует по порядку величины  $T(n) = 2 \cdot n$  операций сравнения. В таких условиях трудоемкость применения Ths-метода по

порядку величины будет уменьшена с уровня  $T(n) = n^2$  до уровня  $T(n) = 2 \cdot n + n^2 / 100$  операций сравнения для одного пикселя изображения, где  $n = 9$ . Таким образом, средняя трудоемкость применения Ths-метода после применения критерия (11) для одного положения маски фильтра потребует по порядку величины  $2 \cdot n$  операций сравнения.

### Выводы

На основе использования наиболее известных и хорошо изученных детерминированных критериев исключения экстремальных наблюдений, в работе предложены соответствующие критерии и унифицированный метод исключения одиночных и групповых импульсных шумов изображения.

Применение предложенного метода позволяет эффективно идентифицировать и исключать из окрестности действия фильтра одиночные и групповые импульсные шумы, что обеспечивает возможность адекватного применения сглаживающих фильтров импульсного шума.

В свою очередь, адекватное сглаживание импульсного шума, позволяет обеспечить эффективность применения методов сегментации изображений объектов на снимке.

### 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. Смоляк С.А. Устойчивые методы оценивания / С.А. Смоляк, Б.П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
9. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухнин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
10. Кнут Д. Искусство программирования. Т.3 / Д. Кнут. – М.: Мир, 1978. – 844 с.

Поступила в редколлегию 25.01.2013

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

**ПОБУДОВА УНІФІКОВАНОГО МЕТОДУ ВИКЛЮЧЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ШУМУ  
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ПРОСТОРОВИХ ФІЛЬТРІВ ШУМУ ЗОБРАЖЕНЬ**

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

*У статті пропонується уніфікований детермінований метод виключення одиночних і групових екстремальних спостережень, які ототожнюються з імпульсним шумом, застосування якого дозволяє забезпечувати можливість адекватного згладжування імпульсного шуму, як для внутрішності, так і для границь зображень об'єктів.*

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

**A MULTI-PURPOSE METHOD FOR EXCLUDING PULSE NOISE  
WHICH PROVIDES ADEQUATE APPLICATION OF IMAGE NOISE SPATIAL FILTERS**

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

*A multi-purpose deterministic method is proposed for excluding singular and multiple outliers describing a pulse noise. It provides adequate smoothing of pulse noise for both the bounds and the interior of object images.*

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