

УДК 355.233.1.005

К.С. Смеляков

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## КРИТЕРИЙ И МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ФИЛЬТРАЦИИ ШУМА

В статье предлагаются критерий и метод оценивания качества фильтрации шума изображения по эталону, использование которых позволяет адекватно выбирать фильтр шума, за счет оценивания степени сглаживания шума, границ изображений объектов и изображений малоразмерных объектов.

**Ключевые слова:** изображение, эталон, экстремальное наблюдение, шум, фильтр.

### Введение

В настоящее время одной из актуальных задач, решаемых на этапе предобработки входного изображения, является задача фильтрации шума, поскольку от эффективности ее решения непосредственно зависит вычислительная эффективность решения задачи сегментации изображений [1 – 3].

При этом для обеспечения возможности адекватного применения фильтра шума необходимо сформулировать критерии оценивания качества фильтрации шума изображения, используемые для адекватного выбора фильтра шума и оценивания его параметров [2, 4, 5].

В настоящее время качество фильтрации шума в литературе оценивается в среднем; чаще всего при этом качество фильтрации шума изображений оценивается величиной дисперсии  $\sigma^2$  или среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma$  [1, 2, 6].

Такой подход имеет ряд существенных недостатков в отношении согласования результатов фильтрации с моделями изображений, а также с требованиями к входному изображению при решении задачи сегментации, в интересах обеспечения эффективности которой, собственно, в системах технического зрения (СТЗ) и производится фильтрация шума изображений.

Во-первых, при проведении фильтрации, главным образом, требуется обнаруживать и сглаживать импульсный шум, наличие которого приводит к неустойчивости методов сегментации изображений в смысле появления ложных объектов и контуров объектов при сегментации [1, 2].

Во-вторых, при проведении фильтрации, необходимо минимизировать проявление эффекта сглаживания границ изображений объектов и линий, поскольку их неприемлемое сглаживание может приводить к неустойчивости методов сегментации изображений в смысле появления разрывов контуров объектов при сегментации [1, 2].

Кроме того, при проведении фильтрации, целесообразно контролировать степень сглаживания малоразмерных изображений объектов. В таких условиях оценивание качества фильтрации в среднем

является неприемлемым, поскольку не отражает степени сглаживания импульсного шума, границ изображений объектов и линий, а также малоразмерных изображений объектов.

Таким образом, актуальной является задача разработки критерия и метода оценивания качества фильтрации шума изображений, с использованием которых можно было бы установить степень сглаживания импульсного шума, границ изображений объектов и линий, а также малоразмерных изображений объектов в явном виде.

### Подготовка исходных данных для оценивания качества фильтрации шума

Для возможности адекватного оценивания качества фильтрации необходимо построить эталон.

Под эталоном  $Q$  будем понимать такое изображение рассматриваемой сцены, распределение яркости которого  $f(i, j)$  очищено от искажений случайного характера, включая шумы.

Для построения распределения яркости эталона применим метод усреднения яркостей по результатам накопления изображений [1, 2].

Допустим, что имеется возможность зафиксировать ракурс съемки, масштаб, уровень освещения поля зрения, а также иные значимые факторы влияния и получить  $N$  снимков  $\{P_{\xi}\}_{\xi}$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , интересующей нас сцены. На этапе обучения такую процедуру можно реализовать практически всегда.

В условиях, когда все значимые факторы влияния зафиксированы яркости  $f(i, j)_{\xi}$  соответствующих пикселей выборочных изображений  $\{P_{\xi}\}_{\xi}$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , будут отличаться друг от друга лишь случайной компонентой.

Для минимизации проявления этой случайной компоненты построим на основе распределений яркости  $\{f(i, j)_{\xi}\}_{\xi}$  выборочных изображений  $\{P_{\xi}\}_{\xi}$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , распределение яркости  $f(i, j)$  эталона  $Q$  рассматриваемой сцены.

Для этого для сочетаний координат  $(i, j)$  пикселей  $d(i, j)$  по соответствующим им яркостям

$f(i, j)_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , найдем условные математические ожидания  $M[f(i, j)]$  яркости

$$f(i, j) = M[f(i, j)] = \frac{1}{N} \sum_{\xi=1}^N f(i, j)_\xi. \quad (1)$$

В результате реализации этого метода, воздействия факторов случайного характера на распределение яркости  $f(i, j)$  эталона  $Q$  будут минимизированы. При этом будут минимизированы погрешности дискретизации и квантования, вариации освещения объектов поля зрения и вариации яркости в зависимости от локальной неоднородности поверхности объектов, а также эффекты зашумления и проявления ветвей границ изображений объектов.

Распределения яркости изображений объектов будут максимально приближены к истинному значению в регрессионном смысле. При этом воздействия факторов детерминированного характера останутся, т.е. точечные и малоразмерные объекты на эталонном изображении не будут сглажены.

### Построение и использование статистической модели шума

Теперь распределение яркости  $f(i, j)$  эталона  $Q$  может использоваться для построения адекватной статистической модели локальных вариаций яркости изображения случайного характера, включая шумовую составляющую [5] на основе сравнения распределений яркости  $f(i, j)$  и  $\{f(i, j)_\xi\}_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , эталона  $Q$  и выборочных изображений  $\{P_\xi\}_\xi$ ,  $\xi = 1, \dots, N$ , соответственно. Для построения такой модели необходимо вначале найти распределение уклонений яркости пикселей выборочных изображений от эталона

$$e(i, j) = f(i, j)_\xi - f(i, j). \quad (2)$$

После этого можно найти плотность распределения уклонений  $p(e)$ . Как правило, при рассмотрении большого числа уклонений, распределение  $p(e)$  с высокой вероятностью аппроксимируется нормальным законом распределения с нулевым средним  $N(0, \sigma)$  на основе применения метода максимального правдоподобия [7]. Имея эту модель  $p(e)$ , и требования к входному изображению, выполнение которых необходимо для проведения эффективной сегментации мы можем оценить вероятность появления таких шумов, которые могут негативно повлиять на результаты сегментации и, принять адекватное решение о целесообразности проведения фильтрации шума на этапе предобработки.

Так, например, при использовании метода сегментации границ изображений по контрастности на основе применения масок [1, 2], по распределению яркости  $f(i, j)$  эталона  $Q$  может быть оценена минимальная контрастность границы  $c_{\min}$ .

По распределению  $p(e)$  может быть оценена вероятность появления шума величины  $h > h^*$ , который может уменьшать контрастность границы изображения до величины  $c_h$ , такой, что  $c_h < h$ . В такой ситуации при высокой вероятности появления шума величиной  $h > h^*$  для возможности адекватной сегментации границы экстремальные перепады яркости изображения  $h > h^*$ , отождествляемые с импульсным шумом, должны быть сглажены по заданному критерию до начала сегментации [8, 9]. При этом меньшие по величине шумы, не оказывающие значимого влияния на устойчивость сегментации, можно не сглаживать.

Таким образом, построение статистической модели шума  $p(e)$ , и ее соотнесение с требованиями по обеспечению устойчивости сегментации, позволяет обоснованно оценивать целесообразность сглаживания шума и выбирать пороги для соответствующих критериев идентификации и фильтров шума [8 – 10].

### Оценка качества фильтрации шума изображения

Итак, допустим, что распределение яркости  $f(i, j)$  эталонного изображения  $Q$  построено, задан оператор  $H[\cdot]$  фильтра шума, и с использованием этого оператора сглажено распределение яркости  $f(i, j)_\xi$  выборочного изображения  $P_\xi$ .

После этого строится распределение невязки

$$e(i, j) = H[f(i, j)_\xi] - f(i, j), \quad (3)$$

где  $H[f(i, j)_\xi]$  – сглаженное оператором  $H[\cdot]$  распределение яркости выборочного изображения  $P_\xi$ .

Для оценивания качества сглаживания шума изображения будем использовать величину максимальной погрешности

$$S_{Ch} = \max_{(i, j)} \{ |H[f(i, j)_\xi] - f(i, j)| \}. \quad (4)$$

Такая оценка погрешности в метрике Чебышева позволяет обнаруживать наиболее значимые отклонения сглаженных значений яркости от эталонных значений, которые отвечают не сглаженным импульсным шумам, сглаженным границам изображений объектов, сглаженным точечным объектам.

Для применения критерия (4) на практике предлагается следующий метод идентификации.

Шаг 1. Применяется критерий (4). Если выполняется условие  $S_{Ch} \leq \Delta$  – далее шаг 3, иначе – шаг 2.

Шаг 2. Тип пикселей, которым отвечают обнаруженные по (4) недопустимо высокие погрешности, большие заданной величины  $\Delta$ ,  $S_{Ch} > \Delta$ , идентифицируется с применением статистических и детерминированных критериев исключения экстремальных наблюдений, предложенных в [8, 9]. На основе решения этой задачи оцениваются вероятности неадекватного сглаживания импульсного шума, границы изображения объекта, точечного объекта.

Шаг 3. Конец.

По этим оценкам может быть принято обоснованное решение об адекватности применения фильтра шума  $H[\cdot]$ . В этом отношении важно заметить, что если неадекватно сглаженная яркость отвечает пикселю, представляющему точечный объект, сходный по своим параметрам с импульсным шумом, применение фильтра шума можно признать адекватным. Если неадекватно сглажена яркость пикселя границы изображения объекта, применение выбранного фильтра следует признать неадекватным.

Использование предложенного метода позволяет находить такой фильтр шума, применение которого обеспечивает выполнение ограничения

$$S_{Ch} \leq \Delta, \quad (5)$$

требуемого для обеспечения эффективности решения задачи сегментации, или, по крайней мере, минимизацию оценок вероятностей неадекватного сглаживания: 1) импульсного шума, 2) границы изображения объекта и 3) точечного объекта. При этом если ограничение (5) выполняется более чем для одного фильтра, среди этих фильтров можно выбирать тот, который минимизирует погрешность, или трудоемкость фильтрации. В частности, в зависимости от требований к результатам сглаживания в качестве дополнительного критерия может использоваться оценка среднеквадратического отклонения

$$S_{AV} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{(i,j)} [H[f(i,j)_\xi] - f(i,j)]^2}, \quad (6)$$

где  $n$  – число пикселей изображения.

Хотя использование СКО не достаточно отражает степень сглаживания границ и импульсных шумов изображения, показатель  $S_{AV}$  может быть целесообразным рассматривать в качестве дополнительного показателя качества фильтрации при равенстве значений основного показателя  $S_{Ch}$  для двух, или более фильтров шума.

## Выводы

В работе предложен критерий оценивания качества фильтрации шума изображения, основанный на использовании эталона, распределение яркости которого максимально приближено к истинному значению в регрессионном смысле, за счет минимизации влияния факторов случайного характера.

## КРИТЕРІЙ І МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМУ

К.С. Смяляков

У статті пропонуються критерій і метод оцінювання якості фільтрації шуму зображення за еталоном, використання яких дозволяє адекватно вибирати фільтр шуму, за рахунок оцінювання ступеня згладжування шуму, границь зображень об'єктів і зображень малорозмірних об'єктів.

**Ключові слова:** зображення, еталон, екстремальне спостереження, шум, фільтр.

## CRITERION AND METHOD FOR ESTIMATING THE QUALITY OF NOISE FILTERING

K.S. Smelyakov

A method and criterion are proposed for estimating the quality of image noise filtering with the use of etalon, which allow us to select adequately a noise filter on the ground of estimating the efficiency of smoothing of noise, object image bounds, and small-sized object images.

**Keywords:** image, etalon, outlier, noise, filter.

На основе совместного использования предложенного критерия оценивания качества фильтрации шума, а также критериев исключения экстремальных наблюдений, предложенных в [8, 9], в работе предложен метод идентификации и оценивания вероятностей неадекватного сглаживания импульсного шума, границ изображений объектов и линий, а также малоразмерных изображений объектов. Применение предложенного метода позволяет обоснованно выбирать наилучший фильтр шума для заданной ситуации зашумления изображения.

## 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. Смяляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Смяляков Кирилл Сергеевич. – Х., 2005. – 162 с.
6. Каламбет Ю. Фильтрация шумов: окончательное решение проблемы / Ю. Каламбет, С. Мальцев, Ю. Козьмин // Аналитика. – 2011. – 1 (1). – С. 50-55.
7. Лямец В.И. Методы статистического анализа / В.И. Лямец. – Х.: ХВВКИУРВ, 1988. – 227 с.
8. Построение статистических методов исключения экстремальных наблюдений для обеспечения адекватного применения пространственных фильтров шума зображений / К.С. Смяляков, О.В. Водолажко, С.В. Смяляков, С.В. Осиевский // Системи обробки інформації. – 2013. – № 4 (111). – С. 35-41.
9. Построение унифицированного метода исключения импульсного шума для обеспечения адекватного применения пространственных фильтров шума изображений / К.С. Смяляков, И.В. Рубан, С.В. Осиевский, О.В. Водолажко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 1 (33). – С. 129-132.
10. Смяляков К.С. Анализ эффективности применения пространственных фильтров шума / К.С. Смяляков, 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 23.08.2013

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