Информационные процессы, Том 19, № 1, 2019, стр. 47–53
© 2019 РУЧАЙ, КОБЕР, КАРНАУХОВ.

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Алгоритм оценивания типа и вероятности импульсного шума на цветных изображениях

А.Н. Ручай[*], В.И. Кобер[**], В.Н. Карнаухов[**]

[*] *Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия*

[**] *Институт проблем передачи информации Российской академии наук, Москва, Россия*

Поступила в редколлегию 07.02.2019

Аннотация—Известно, что при передаче и записи информации на цветных цифровых изображениях часто возникает импульсный шум. Чтобы улучшить качество изображений, важно использовать эффективные подходы к удалению импульсного шума. В данной работе предлагается алгоритм оценивания типа и вероятности импульсного шума на цветных изображениях с использованием морфологических операций. Представлены результаты компьютерных экспериментов для демонстрации работы предложенного алгоритма по оцениванию типа и вероятности импульсного шума для различных моделей импульсных помех.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: импульсный шум, цветное изображение, морфологические операции.

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессе записи или передачи информации на цветных цифровых изображениях часто возникает импульсный шум из-за неисправностей датчиков, ошибок передачи, аналого-цифровом преобразовании [1, 2]. Чтобы улучшить качество цветных изображений, важно использовать эффективные подходы к оцениванию параметров искажения и последующему удалению импульсного шума [3, 4].

Цветное изображение можно рассматривать как отображение $Z_2 \to Z_3$, которое присваивает точке $x = (i, j)$ на плоскости изображения трехмерный вектор (x^r, x^g, x^b), где верхние индексы соответствуют каналу красного, зеленого или синего цветов. Таким образом, цветное изображение считается двумерным векторным полем, и каждый вектор имеет три цветовых компоненты.

Недавно было предложено несколько механизмов переключающегося фильтра [5, 6] для улучшения работы обычных алгоритмов подавления импульсного шума. Переключающиеся алгоритмы состоят из двух подсистем: 1) обнаружение импульсной помехи, то есть является ли центральный элемент в скользящем окне W зашумленным; 2) исправлении помехи, то есть если центральный элемент был определен как шум, то он заменяется выходом исправляющего фильтра, а в противном случае он остается неизменным (см. Рис. 1). Как правило, переключающие алгоритмы имеют следующие проблемы [6–8]: они плохо определяют наличие высоковероятностного шума, особенно при независимых искажениях в каналах цветного изображения.

Поэтому в данной работе решается одна из основных проблем для переключающегося фильтра — оценивание типа и вероятности импульсного шума с использованием морфологических операций. Решение этой задачи позволила бы эффективно выбирать алгоритм удаления шума, а также подбирать его параметры.

Статья организована следующим образом. Раздел 2 описывает модели импульсных помех. В разделе 3 описан предлагаемый алгоритм оценивания типа и вероятности импульсного шума

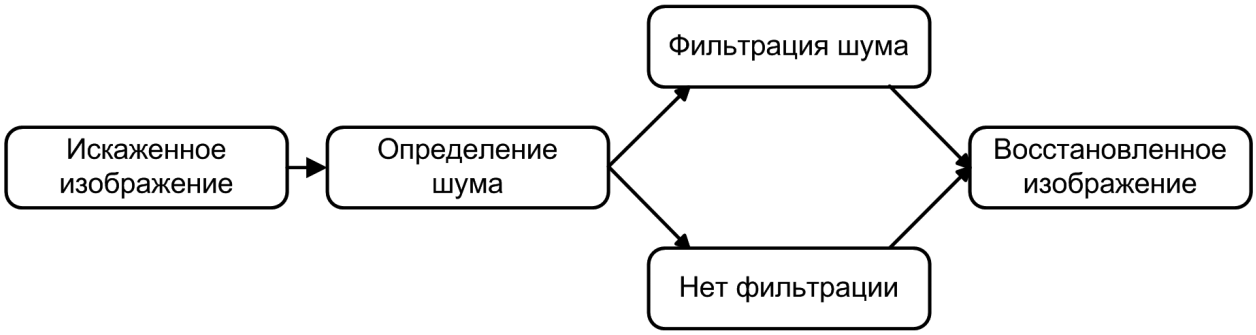

Рис. 1. Блок-схема переключающегося фильтра.

с использованием морфологических операций. Результаты компьютерных экспериментов по оцениванию типа и вероятности импульсного шума для различных моделей помех с помощью предложенного алгоритма приведены в разделе 4. Наконец, в разделе 5 представлены наши выводы.

2. МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА

Цветные изображения могут быть искажены различными типами импульсных помех [6, 9–11]. Импульсное искажение происходит в процессе передачи данных по неисправным каналам связи, в результате фотоэлектронных сбоев датчиков и т.д. Возникновение импульсного шума может быть вызвано различными источниками, такими как системы зажигания автомобиля, промышленные машины в непосредственной близости от приемников сигнала, переключение в линиях электропередачи, молнии в атмосфере и различные незащищенные выключатели. Этот тип шума часто моделируются как импульсный шум. Импульсный шум — случайные изолированные элементы изображения, которые своими значениями яркости резко отличаются от значений элементов в их локальной окрестности.

Рассмотрим модели импульсного шума, используемые для компьютерного моделирования. Пусть X_i — вектор, характеризующий пиксель зашумленного изображения, q — вектор, описывающий одну из моделей шума, x_i — вектор свободный от шума, p — вероятность появления импульсного шума. В зависимости от типа вектора q значения пикселей x_i заменяются либо фиксированными значениями, либо случайными. Изображение может быть искажено с различными вероятностями по полю, то есть $p \in \{0.1, 0.2, \ldots, 0.9\}$.

Предположим, что каналы цветного изображения искажены независимо друг от друга (CI). Будем использовать следующие модели импульсных помех:

$$X_i = \begin{cases} (q_1, x_i^g, x_i^b), & \text{с вероятностью} \quad p(1-p)^2, \\ (x_i^r, q_2, x_i^b), & \text{с вероятностью} \quad p(1-p)^2, \\ (x_i^r, x_i^g, q_3), & \text{с вероятностью} \quad p(1-p)^2, \\ (q_1, q_2, x_i^b), & \text{с вероятностью} \quad p^2(1-p), \\ (x_i^r, q_2, q_3), & \text{с вероятностью} \quad p^2(1-p), \\ (q_1, x_i^g, q_3), & \text{с вероятностью} \quad p^2(1-p), \\ (q_1, q_2, q_3), & \text{с вероятностью} \quad p^3, \\ (x_i^r, x_i^g, x_i^b), & \text{с вероятностью} \quad (1-p)^3, \end{cases}$$

где q_1, q_2, q_3 — независимые случайные величины с вероятностью p. Предположим, что значения сигнала в каналах принадлежит интервалу $[0, 255]$. Искаженные пиксели могут быть

определены следующим образом: модель CI1 означает, что они принимают значения либо 0, либо 255; модель CI2 означает, что искаженный пиксель — случайная величина с равномерным распределением в интервале $[0, 255]$; модель CI3 означает, что искаженный пиксель — случайная величина с равномерным распределением в интервалах $[0, 55]$ и $[200, 255]$. Мы также рассматриваем модель CT — все каналы цветного изображения искажаются одновременно импульсным шумом следующим образом:

$$X_i = \begin{cases} (q_1, q_2, q_3), & \text{с вероятностью } p, \\ (x_i^r, x_i^g, x_i^b), & \text{с вероятностью } (1-p). \end{cases}$$

Искаженные пиксели для моделей: (CT1, CT2, CT3 могут быть определены также, как и для CI модели.

На Рис. 2 показаны примеры изображений, искаженных в соответствии с тестируемыми моделями зашумления.

3. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ТИПА И ВЕРОЯТНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА

Известно, что морфологическая обработка изображений является нелинейной, локальной обработкой [12, 13], поэтому морфологические операции можно реализовать параллельно для быстрой фильтрации шумов [14,15]. Мы рассмотрим алгоритм оценивания типа и вероятности импульсного шума на основе морфологических операций, определенных в [7].

Пусть оператор эрозии $\ominus$ и оператор дилатации $\oplus$ определяются как

$$(x \ominus b)(i,j) = min\{x(i+s, j+t) - b(s,t) \,|\, (i+s, j+t) \in D_x, (s,t) \in D_b\},$$

$$(x \oplus b)(i,j) = max\{x(i-s, j-t) + b(s,t) \,|\, (i-s, j-t) \in D_x, (s,t) \in D_b\},$$

где b — структурный элемент, D_x, D_b — область изображения x, область структурного элемента b, соответственно.

На основе операторов эрозии и дилатации можно определить два вида морфологических градиента g_e и g_d как

$$g_e(i,j) = x^{(r,g,b)}(i,j) - (x^{(r,g,b)} \ominus b)(i,j),$$

$$g_d(i,j) = (x^{(r,g,b)} \oplus b)(i,j) - x^{(r,g,b)}(i,j).$$

Эти два морфологических градиента $g_e(i,j)$ и $g_d(i,j)$ позволяют определить гибридный градиент $g_h(i,j)$ как

$$g_h(i,j) = g_d(i,j) \cdot g_e(i,j).$$

Предполагается, что пиксель (i,j) искажен шумом, если $g_h(i,j) = 0$.

Алгоритм оценивания вероятности шума состоит из следующих шагов:

1. На основе вычисленного гибридного градиента $g_h(i,j)$ определяем искаженность импульсным шумом пикселей (i,j) независимо для каждого канала (x^r, x^g, x^b).
2. Находим среднее количество M искаженных пикселей по всем каналам (x^r, x^g, x^b).
3. Оцениваем вероятность импульсного шума, как отношение среднего количества M искаженных пикселей к числу элементов изображения x.

Рис. 2. Примеры искаженных изображений для следующих моделей: (а) CI1, (б) CT1, (в) CI2, (г) CT2, (д) CI3, (е) CT3 при вероятности шума $p = 0.3$.

Рассмотрим случай, когда каналы были искажены независимо друг от друга (CI). Алгоритм оценивания типа импульсного шума состоит из следующих шагов:

1. На основе вычисленного гибридного градиента $g_h(i, j)$ определяем искаженность пикселей (i, j) независимо для каждого канала (x^r, x^g, x^b).
2. Строим гистограмму значений искаженных пикселей для каждого канала на отрезках $[0, 10)$, $[10, 60)$, $[60, 190)$, $[190, 245)$, $[245, 255]$.
3. Вычисляем итоговую гистограмму, как сумму значения отрезков для каждого канала.
4. На основе полученной гистограммы определяем тип импульсного шума: если искаженные пиксели находятся в основном на отрезках $[0, 10)$ и $[245, 255]$, то тип шума будет CI1, так как он принимают значения либо 0, либо 255; если искаженные пиксели находятся в основном

на отрезках $[0, 10)$, $[10, 60)$, и $[190, 245)$, $[245, 255]$, то тип шума будет CI3, так как он принимают значения в интервалах $[0, 55]$ и $[200, 255]$; если искаженные пиксели присутствуют на всех интервалах $[0, 255]$, то тип шума будет CI2, так как он принимают значения в полном интервале сигнала $[0, 255]$.

В дальнейшем мы можем определить зависимость искажений в каналах, то есть тип CI или CT. Для этого предлагается следующий алгоритм:

1. На основе вычисленного гибридного градиента $g_h(i, j)$ определяем искаженность пикселей (i, j) независимо для каждого канала (x^r, x^g, x^b).
2. Поэлементно применяем логическую операцию ИЛИ между всеми каналами (x^r, x^g, x^b).
3. Если в итоговой матрице количество ошибок меньше, чем заданный порог, умноженный на количество искаженных пикселей в отдельном канале, то считается, что произошло искажение в соответствие с моделью CT; иначе, в соответствие с моделью CI.

4. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для наших экспериментов мы использовали 43 цветных изображения из базы данных изображений TID2013 [16]. Для проведения экспериментов использовался персональный компьютер со следующими характеристиками: 4-х ядерный 64-битный процессор — Intel Core i5-3340 с рабочей частотой 3.3 ГГц, объем ОЗУ — 16 ГБ, объем дискового пространства — 2 ТБ. На компьютере установлены ОС Windows 7 и среда разработки Matlab. Все эксперименты были реализованы в среде Matlab. Чтобы гарантировать статистически корректные результаты, каждый эксперимент повторялся 30 раз для различных реализаций импульсного шума.

Результаты первого эксперимента по оценки вероятности импульсного шума приведены в таблице 1. Предложенный алгоритм оценивания вероятности импульсного шума дает хорошие результаты для моделей CI1 и CT1, а при вероятности меньше 0.6 также для моделей CI3 и CT3. Однако, для моделей CI2 и CT2 предложенный алгоритм не работает.

Таблица 1. Надежность (%) вычисления вероятности импульсного шума.

p	CI1	CI2	CI3	CT1	CT2	CT3
0.1	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100
0.3	100	49	100	100	42	100
0.4	100	16	84	100	14	65
0.5	100	7	53	100	14	40
0.6	100	12	42	100	12	44
0.7	100	9	35	100	7	28
0.8	100	7	30	100	5	33
0.9	100	9	26	100	2	16

Результаты второго эксперимента по оценки типа импульсного шума независимых каналов (тип CI) представлены в таблице 2, а итоговая таблица 3 показывает результаты оценки всех типов импульсного шума (CI1, CI2, CI3, CT1, CT2 и CT3) с использованием дополнительной информации о зависимости помех в каналах. Таблица 3 показывает, что для всех типов кроме CT2 предложенный алгоритм определения типа импульсного шума является надежным при вероятности импульсного шума меньше 0.6, а для типа шума (CI2, CI3, CT2 и CT3) можно получить хорошую надежность определения типа шума при вероятности больше 0.6.

Таблица 2. Надежность (%) определения типа шума для независимых каналов (модель CI).

p	CI1	CI2	CI3
0.1	100	53	98
0.2	100	33	91
0.3	100	37	95
0.4	100	42	93
0.5	100	40	95
0.6	100	40	93
0.7	100	37	93
0.8	100	35	88
0.9	100	49	86

Таблица 3. Надежность (%) определения типа шума для моделей: CI1, CI2, CI3, CT1, CT2, CT3.

p	CI1	CI2	CI3	CT1	CT2	CT3
0.1	100	100	100	93	26	100
0.2	100	100	100	100	21	100
0.3	100	100	100	100	44	100
0.4	100	100	100	100	42	100
0.5	100	98	100	100	40	100
0.6	100	84	98	100	53	100
0.7	0	79	0	100	47	100
0.8	0	63	0	100	53	100
0.9	0	53	0	100	47	100

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен алгоритм оценивания типа и вероятности импульсного шума с использованием морфологических операций. Результаты компьютерных экспериментов показали, что предложенный алгоритм эффективно работает для различных моделей импульсных помех, что позволит правильно выбрать технику удаления импульсного шума, а также подобрать параметры фильтрации в зависимости от типа и вероятности импульсного шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kober V. Robust and efficient algorithm of image enhancement // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2006. Vol. 52, no. 2. P. 655–659.

2. Ruchay A., Kober V. Clustered impulse noise removal from color images with spatially connected rank filtering // Proc. SPIE. Vol. 9971. 2016. P. 99712Y–10.

3. Ruchay A., Kober V. Removal of impulse noise clusters from color images with local order statistics // Proc.SPIE. Vol. 10396. 2017. P. 10396–10.

4. Ruchay A., Kober V. Impulsive noise removal from color video with morphological filtering // Proc.SPIE. Vol. 10396. 2017. P. 10396–9.

5. Smolka B., Chydzinski A. Fast detection and impulsive noise removal in color images // J. Real Time Imaging. 2005. Vol. 11(5-6). P. 389–402.

6. Smolka B., Malik K., Malik D. Adaptive rank weighted switching filter for impulsive noise removal in color images // J. Real-Time Image Proc. 2015. Vol. 10. P. 289–311.

7. Yuan C., Li Y. Switching median and morphological filter for impulse noise removal from digital images // Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 2015. Vol. 126, no. 18. P. 1598–1601.

8. Ruchay A., Kober V. Impulsive noise removal from color images with morphological filtering // Analysis of Images, Social Networks and Texts. Cham : Springer International Publishing, 2018. P. 280–291.

9. Khryashchev V., Kuykin D., Studenova A. Vector median filter with directional detector for color image denoising // Proc. of the World Congress on Engineering. Vol. II. 2011. P. 1–6.

10. Singh K., Bora P. Adaptive vector median filter for removal of impulse noise from color images // Journal of electrical and electronics engineering. 2004. Vol. 4(1). P. 1063–1072.

11. Venkatesan P., Nagarajan G. Removal of gaussian and impulse noise in the colour image progression with fuzzy filters // International Journal of Electronics Signals and Systems. 2013. Vol. 3(1). P. 1–6.

12. Soille P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. 2 edition. Secaucus, NJ, USA : Springer-Verlag New York, Inc., 2003. ISBN: 3540429883.

13. Najman L., Talbot H. Mathematical Morphology: from theory to applications / Ed. by Najman Laurent, Talbot Hugues. ISTE-Wiley, 2010. P. 507 p.

14. Jakhar A., Sharma S. A novel approach for image enhancement using morphological operators // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Technology (IJARCST 2014). Vol. 2. 2014. P. 300–302.

15. Yoshitaka K. Mathematical morphology-based approach to the enhancement of morphological features in medical images // Journal of Clinical Bioinformatics. Vol. 1. 2011. P. 33.

16. Ponomarenko N., Ieremeiev O., Lukin V. et al. A new color image database tid2013: Innovations and results // 15th International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems - Volume 8192. ACIVS 2013. Springer-Verlag, 2013. P. 402–413.

An algorithm for estimating the type and probability of impulse noise in color images

Ruchay A.N., Kober V.I., Karnaukhov V.N.

Color digital images are often contaminated by impulse noise during transmitting and recording information. To improve image quality, it is important to use effective approaches to removing impulse noise. This paper proposes an algorithm for estimating the type and probability of impulse noise on color images using morphological operations. The results of computer experiments are presented to demonstrate the performance of the proposed algorithm for estimating the type and probability of impulse noise for various interference models.

KEYWORDS: impulse noise, color image, probability, morphological operations.