

К. т. н. А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО, к. т. н. А. В. ТРОЯНСКИЙ, Ю. А. САВЧУК*

Украина, Одесский национальный политехнический университет, *ГП НИИ «Шторм»

E-mail: koa@onu.ua

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Рассмотрены особенности применения алгоритмов медианной фильтрации для очистки от импульсного шума черно-белых и цветных изображений, полученных с оптических преобразователей, в состав которых входит матрица на основе приборов с зарядовой связью. Установлено, что использование набора из нескольких медианных фильтров с переменной апертурой позволяет добиться лучшей субъективной резкости и более высокого коэффициента корреляции между восстановленным изображением и незашумленным, чем известные аналогичные алгоритмы. Использование разработанного алгоритма позволит повысить вероятность правильного распознавания символьной и графической информации на восстановленных изображениях, например, в задачах распознавания автомобильных номеров и лиц людей в условиях плохой видимости или слабой освещенности.

Ключевые слова: медианный фильтр, усредняющее окно, апертура фильтра, коэффициент корреляции.

Присутствие импульсного шума на изображениях ухудшает визуальное восприятие и существенно снижает вероятность правильной идентификации в задачах распознавания образов. В качестве объектов для анализа могут выступать, например, номера автомобилей, лица людей, текстовая информация и т. д. Основным компонентом, преобразующим оптическое изображение в цифровую форму, является набор светочувствительных элементов, конструктивно объединенных на одном кристалле в виде единой матрицы. Самая распространенная технология реализации элементов светочувствительных матриц носит название ПЗС, или «прибор с зарядовой связью», а сами матрицы называются ПЗС-матрицами. Таким образом, основным источником «цифрового шума» на оцифрованном изображении являются шумы преобразования ПЗС-матрицы [1], а также внутренние шумы аналоговой электроники цифровой камеры.

Наиболее эффективными и простыми методами борьбы с импульсными помехами с точки зрения практической реализации [2, 3] являются медианные фильтры. В [4, 5] проведена экспериментальная проверка качества работы медианных фильтров с различной фиксированной апертурой и доказана их эффективность при изменяющемся уровне флуктуационных помех, однако предложенные алгоритмы не адаптированы для обработки изображений с импульсным шумом. Основным недостатком большинства алгоритмов обработки зашумленных изображений заключается в том, что они построены без учета неравномерности уровня шума в различных областях изображения.

В [6] рассматривается близкая к идеологии данного исследования адаптивная медианная фильтрация с возможностью подстройки параметров филь-

тра под конкретную помеховую ситуацию, при этом очевидно, что полученные в работе результаты могут быть улучшены, например, за счет объединения откликов нескольких фильтров в один массив данных.

Хорошие результаты очистки изображения от шума на основе элементов нейронной сети, обрабатывающей сигнал с применением алгоритмов нелинейной диффузии, получены в [7—9]. К недостатку данного подхода можно отнести очень высокую вычислительную сложность и необходимость большого числа итераций для обучения фильтров, реализующих нелинейную диффузию.

Целью данной работы является улучшение качественных показателей, таких как резкость и коэффициент корреляции, очищенного от импульсного шума изображения, которое предназначено для автоматизированного распознавания, с помощью алгоритма адаптивной медианной фильтрации.

Суть медианной фильтрации импульсного шума на изображении

Медианные фильтры с одинаковым успехом применяются для снижения интенсивности импульсного шума как цветных, так и черно-белых изображений [10, 11].

Импульсный шум на черно-белом изображении проявляется как отдельные хаотические пиксели с большим отличием яркости от усредненного в окне $N \times N$ значения, а в случае цветного изображения — в виде отдельных пикселей случайного цвета. При этом анализ цветного изображения сводится к анализу черно-белого после разделения его на монохромные каналы красного, зеленого и синего цветов. Суть алгоритма медианной фильтрации [12] за-

ключается в замене значения центрального пикселя в скользящем «окне усреднения» на значение среднего элемента упорядоченного массива пикселей.

Окно усреднения в литературе называется апертурой, и в случае медианной фильтрации может принимать значения $[3 \times 3]$, $[5 \times 5]$, $[7 \times 7]$ и т. д. Наиболее часто используемые размеры апертур для снижения уровня импульсного шума — $[3 \times 3]$ и $[5 \times 5]$, поскольку большие размеры окон приводят к потере качества изображения. Главное достоинство этого алгоритма — простота технической реализации благодаря отсутствию арифметических операций умножения, а также эффективное удаление отдельных элементов, амплитуда которых намного больше, чем соседних пикселей.

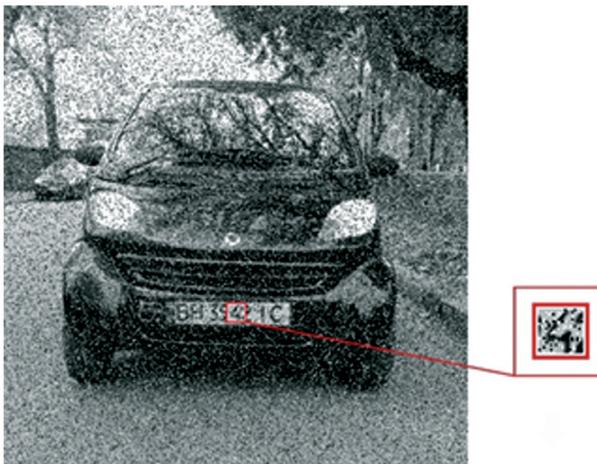


Рис. 1. Изображение автомобиля при наличии импульсного шума с дисперсией $\sigma^2 = 0,2$ с увеличенным фрагментом, попадающим в апертуру медианного фильтра

Рассмотрим стандартный алгоритм медианной фильтрации [13] в окне $[3 \times 3]$ применительно к изображению на рис. 1, на котором присутствует импульсный шум с дисперсией $\sigma^2 = 0,2$. На рис. 2 приведены соответствующие выделенному на рис. 1 фрагменту изображения массивы выборок в градациях серого до и после медианной фильтрации

На рис. 3 показаны этапы формирования сигнала на выходе медианного фильтра с апертурой $[3 \times 3]$. Для определенности предположим, что окно фильтра имеет центр на пересечении 13-й строки и 4-го столбца. Поскольку центральный элемент имеет нулевую яркость, а большинство соседних пикселей существенно отличаются по амплитуде, можно предположить, что он представляет собой элемент импульсного шума.

На шаге 1 (рис. 3, а) массив $[3 \times 3]$ преобразуется в строку 1 из 9 элементов следующим образом:

$$I = [m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{21}, m_{22}, m_{23}, m_{31}, m_{32}, m_{33}] =$$

$$= [i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9] =$$

$$= [207, 117, 255, 208, 0, 0, 199, 118, 44].$$

На шаге 2 (рис. 3, б) происходит сортировка строки 1 в порядке возрастания амплитуды выборок:

$$J = [\min(i_1, i_2, \dots, i_9) \leq i_2 \leq i_3 \leq \dots \leq i_9 = \max(i_1, i_2, \dots, i_9)] =$$

$$= [0, 0, 44, 117, 118, 199, 207, 208, 255].$$

Выходное значение фильтра (рис. 3, в) выбирается как медиана массива J : $J_5 = 118$. Оно заменяет элемент с уровнем «0» 13-й строки 4-го столбца исходного изображения. Результат обработки изображения с помощью медианного фильтра показан на рис. 4.

	столбец 1	столбец 2	столбец 3	столбец 4	столбец 5	столбец 6	столбец 7	столбец 8	столбец 9	столбец 10	столбец 11	столбец 12	столбец 13	столбец 14	столбец 15	столбец 16	столбец 17	столбец 18	столбец 19
а) строка 1	0	199	197	198	198	197	196	198	196	205	193	173	198	201	200	198	199	212	224
строка 2	215	199	255	201	199	199	200	200	201	217	107	46	86	255	198	206	255	196	114
строка 3	172	215	199	0	202	198	0	205	213	128	32	255	255	203	203	0	183	255	43
строка 4	78	195	0	255	199	255	200	210	152	46	46	147	0	198	198	210	105	39	40
строка 5	41	162	203	198	199	200	215	196	71	0	88	196	0	199	0	163	49	45	132
строка 6	36	255	201	196	202	201	195	73	25	83	197	206	197	255	208	141	38	40	177
строка 7	43	143	207	198	204	255	0	38	58	178	208	201	255	199	201	173	125	135	200
строка 8	44	153	204	201	216	149	42	34	140	0	200	199	198	200	201	203	255	210	204
строка 9	51	0	203	214	179	55	0	126	207	0	255	0	255	223	206	199	202	206	201
строка 10	74	192	210	211	94	28	74	191	203	201	198	148	96	158	0	202	201	199	202
строка 11	114	255	205	139	35	49	181	230	216	213	210	255	0	116	206	200	201	202	205
строка 12	149	20	207	117	255	48	0	126	163	181	115	255	36	120	255	0	198	207	0
строка 13	194	20	208	0	0	41	40	47	43	43	39	255	30	120	207	204	199	211	140
строка 14	209	20	199	118	44	68	61	39	255	60	255	39	37	255	212	198	214	0	255
строка 15	203	201	202	255	171	190	186	255	180	184	155	55	32	126	206	211	191	0	29
строка 16	255	197	199	201	202	255	202	201	255	0	196	74	31	130	209	207	99	255	32
строка 17	255	200	194	201	204	194	198	203	194	197	0	70	35	148	0	255	0	38	45
строка 18	200	199	0	200	255	201	0	201	195	0	184	255	24	142	0	107	33	41	32
строка 19	200	200	198	198	200	199	200	202	198	201	178	66	49	147	0	110	35	255	38
б) строка 1	199	199	199	198	198	198	197	197	198	196	195	193	199	199	199	199	199	199	197
строка 2	199	199	199	199	198	198	198	200	205	196	173	173	201	201	201	199	199	199	196
строка 3	172	199	199	199	199	199	200	200	205	128	107	86	198	198	203	198	196	114	61
строка 4	78	172	198	199	199	200	200	200	152	71	88	88	198	198	198	163	105	49	45
строка 5	64	162	198	199	200	200	200	195	73	71	88	147	197	198	198	141	49	45	85
строка 6	45	162	198	201	200	201	196	71	71	83	196	197	199	199	199	141	125	125	177
строка 7	44	153	201	202	201	201	73	42	58	140	199	200	200	201	201	201	141	177	202
строка 8	43	143	201	204	201	149	42	42	58	178	199	201	200	201	201	201	202	202	203
строка 9	44	153	203	204	179	74	55	126	140	200	198	198	198	200	201	202	202	202	204
строка 10	51	192	205	203	94	55	74	191	203	207	201	198	148	158	200	201	201	202	205
строка 11	114	203	205	205	94	49	74	181	201	201	201	148	120	116	158	201	201	201	205
строка 12	149	203	203	139	48	41	48	126	163	163	210	115	120	120	200	201	201	201	207
строка 13	194	203	202	118	48	44	47	60	115	115	39	120	120	204	204	199	199	211	
строка 14	201	202	202	171	68	61	61	61	60	155	60	39	55	126	206	206	199	191	140
строка 15	202	202	201	199	190	186	190	201	184	184	74	55	55	130	207	207	198	99	50
строка 16	201	201	201	201	201	198	201	201	197	184	74	55	70	126	206	206	191	38	45
строка 17	200	199	199	201	201	202	201	201	197	194	74	70	74	35	142	99	99	38	42
строка 18	200	200	199	200	200	200	198	198	198	194	178	66	70	35	110	33	41	38	41
строка 19	200	200	199	198	200	199	200	198	198	195	184	158	142	142	107	110	41	41	42

Рис 2. Массивы, соответствующие выделенному на рис. 1 участку изображения:

а — массив выборок в градациях серого (полужирным шрифтом выделены уровни импульсного шума «0» и «255»); б — после медианной фильтрации

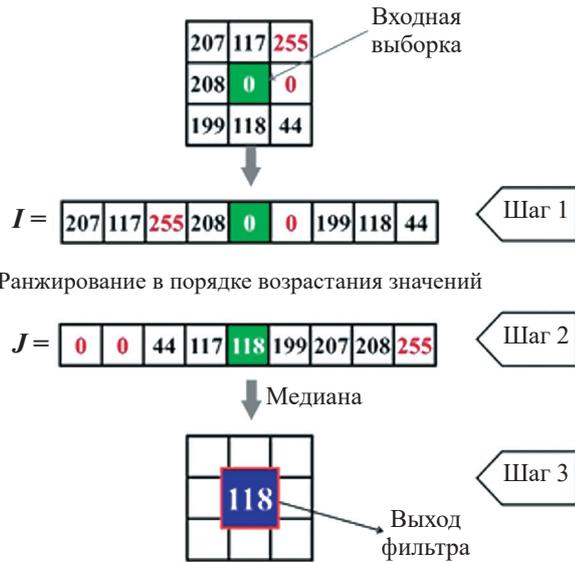


Рис 3. Алгоритм медианной фильтрации в окне $[3 \times 3]$: шаг 1 — массив выборок I в градациях серого, соответствующий увеличенному фрагменту изображения на рис. 1; шаг 2 — ранжированный в порядке возрастания массив выборок J ; шаг 3 — выбор выходного значения фильтра

Для оценки эффективности работы медианного фильтра удобно использовать критерий RMS [14] — минимум среднеквадратического отклонения яркости пикселей оригинального и очищенного от шума изображения, либо критерий максимума коэффициента корреляции r [15] этих же изображений. Воспользуемся вторым как более информативным:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}}$$

где A — оригинальное изображение;
 B — восстановленное изображение;



Рис 4. Очищенное с помощью медианной фильтрации с окном $[3 \times 3]$ изображение автомобиля, приведенное на рис. 1

m, n — индексы 2-го массива

M, N — размеры изображения A и B , соответственно, по горизонтали и вертикали в пикселях;

\bar{A}, \bar{B} — средние значения яркости пикселей с учетом усреднения по всему второму массиву, представляющему изображение:

$$\bar{A} = \frac{1}{MN} \sum_m \sum_n (A_{mn}), \quad \bar{B} = \frac{1}{MN} \sum_m \sum_n (B_{mn}).$$

Коэффициент корреляции между оригинальным и зашумленным изображением с дисперсией $\sigma^2 = 0,2$ составил $r = 0,68$, а между оригинальным и очищенным от шума с помощью медианного фильтра — $r = 0,973$.

На рис. 5 приведена зависимость коэффициента корреляции от дисперсии импульсного шума для медианных фильтров с апертурами $[3 \times 3]$ и $[5 \times 5]$.

Как видно из рис. 5, скорость спада коэффициента корреляции возрастает при увеличении дисперсии импульсного шума.

В связи с недостатками медианной фильтрации с фиксированной апертурой предлагается использовать алгоритм, основанный на адаптивной медианной фильтрации.

Разработанный адаптивный алгоритм медианной фильтрации удобно рассматривать в виде структурной схемы, которая показана на рис. 6.

Адаптивный фильтр работает следующим образом. Выборки входного изображения, содержащего импульсный шум, поступают одновременно на устройство ранжирования (двухпороговый компаратор), на медианные фильтры с апертурой $[3 \times 3]$ и фильтр с переменной апертурой $[n \times n]$, где $n = 5, 7, 9, \dots$

Уровни нижнего Z_H и верхнего Z_B порогов компаратора зависят от ожидаемой дисперсии шума и для случая 8-битного изображения определяются следующим образом:

$$\begin{cases} Z_H = 255\sqrt{\sigma^2} = 255\sigma; \\ Z_B = 255 - 255\sqrt{\sigma^2} = 255(1 - \sigma), \end{cases}$$

где σ^2 — дисперсия шума.

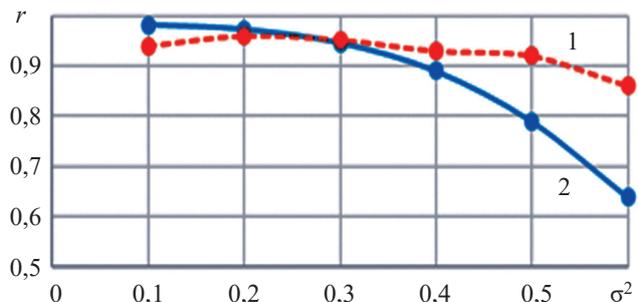


Рис 5. Зависимость коэффициента корреляции от дисперсии импульсного шума для медианных фильтров с окнами $[3 \times 3]$ (1) и $[5 \times 5]$ (2)

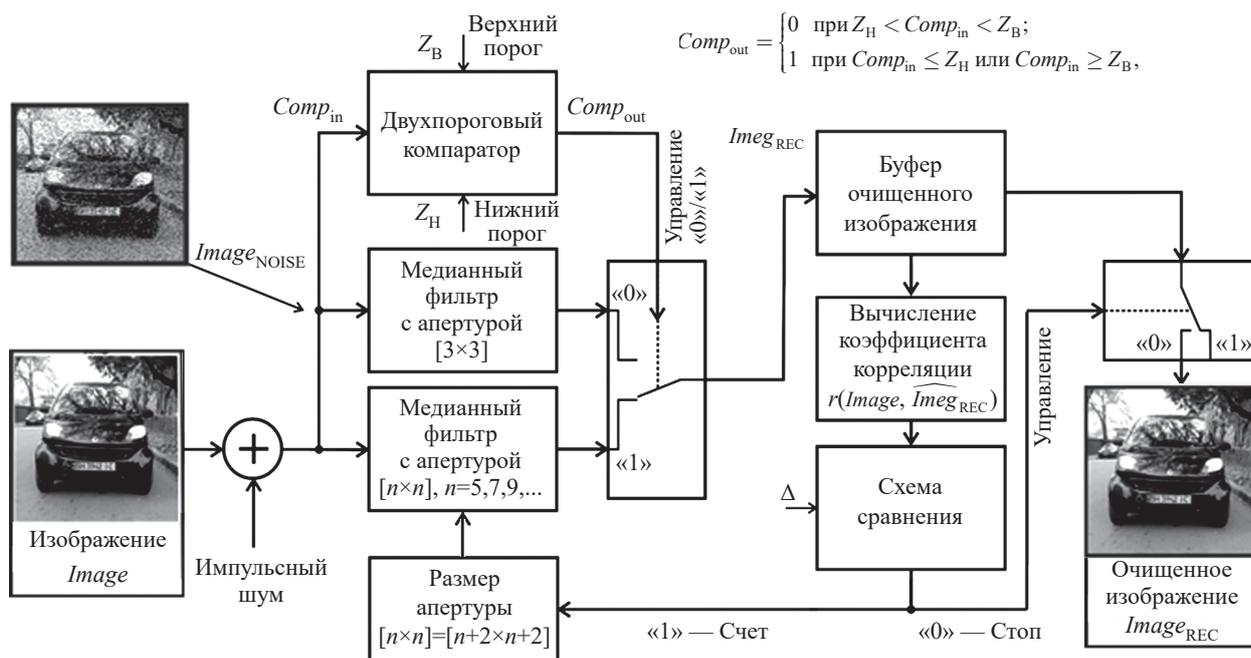


Рис 6. Структурная схема устройства очистки изображения от импульсного шума, основанная на адаптивной медианной фильтрации

На выходе компаратора образуется бинарный управляющий сигнал

$$Comp_{out} = \begin{cases} 0 & \text{при } Z_H < Comp_{in} < Z_B; \\ 1 & \text{при } Comp_{in} \leq Z_H \text{ или } Comp_{in} \geq Z_B, \end{cases}$$

где $Comp_{in}$ — значение амплитуды выборки на входе компаратора.

Выходной сигнал компаратора управляет коммутатором, который подключает канал медианного фильтра с апертурой $[3 \times 3]$ в случае логического «0» или канал медианного фильтра с апертурой $[n \times n]$ в случае логической «1». Для полученного на выходе коммутатора изображения рассчитывается коэффициент корреляции с незашумленным исходным изображением. Далее коэффициент корреляции сравнивается с желаемым, или допустимым, (Δ) значением, и если условие выполняется, то схема завершает работу по очистке изображения ($Image_{REC}$) от шума. Если получен низкий коэффициент корреляции, схема сравнения вырабатывает управляющий сигнал (уровень логической «1») на медианный фильтр с переменной апертурой, и процедура фильтрации повторяется с использованием фильтра, обладающего большим размером усредняющего окна.

Примеры очистки зашумленных импульсным шумом изображений с помощью медианных фильтров с апертурами $[3 \times 3]$ и $[5 \times 5]$ для различной дисперсии шума приведены на рис. 7, значения коэффициента корреляции с исходным изображением представлены в таблице. Как видно, с ростом дисперсии шума ка-

чество восстановленного изображения ухудшается. Начиная со значения $\sigma^2 = 0,3$, медианная фильтрация с апертурой $[3 \times 3]$ не устраняет помеху, а фильтрация с апертурой $[5 \times 5]$ ухудшает резкость изображения.

Значения коэффициента корреляции между восстановленным и незашумленным изображением при различной дисперсии импульсного шума

Изображение	Коэффициент корреляции r при различной дисперсии σ^2					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Зашумленное	0,824	0,68	0,55	0,45	0,36	0,27
После медианного фильтра $[3 \times 3]$	0,982	0,973	0,946	0,89	0,79	0,64
После медианного фильтра $[5 \times 5]$	0,94	0,96	0,952	0,93	0,92	0,86
После адаптивного медианного фильтра	0,984	0,977	0,969	0,96	0,95	0,935

Анализ приведенных в таблице данных показывает, что при относительно небольшой дисперсии импульсного шума ($\sigma^2 < 0,2$) медианная фильтрация с помощью фильтра, обладающего минимальным размером апертурой $[3 \times 3]$, гарантирует достаточно большое значение коэффициента корреляции при небольших вычислительных затратах. При больших значе-

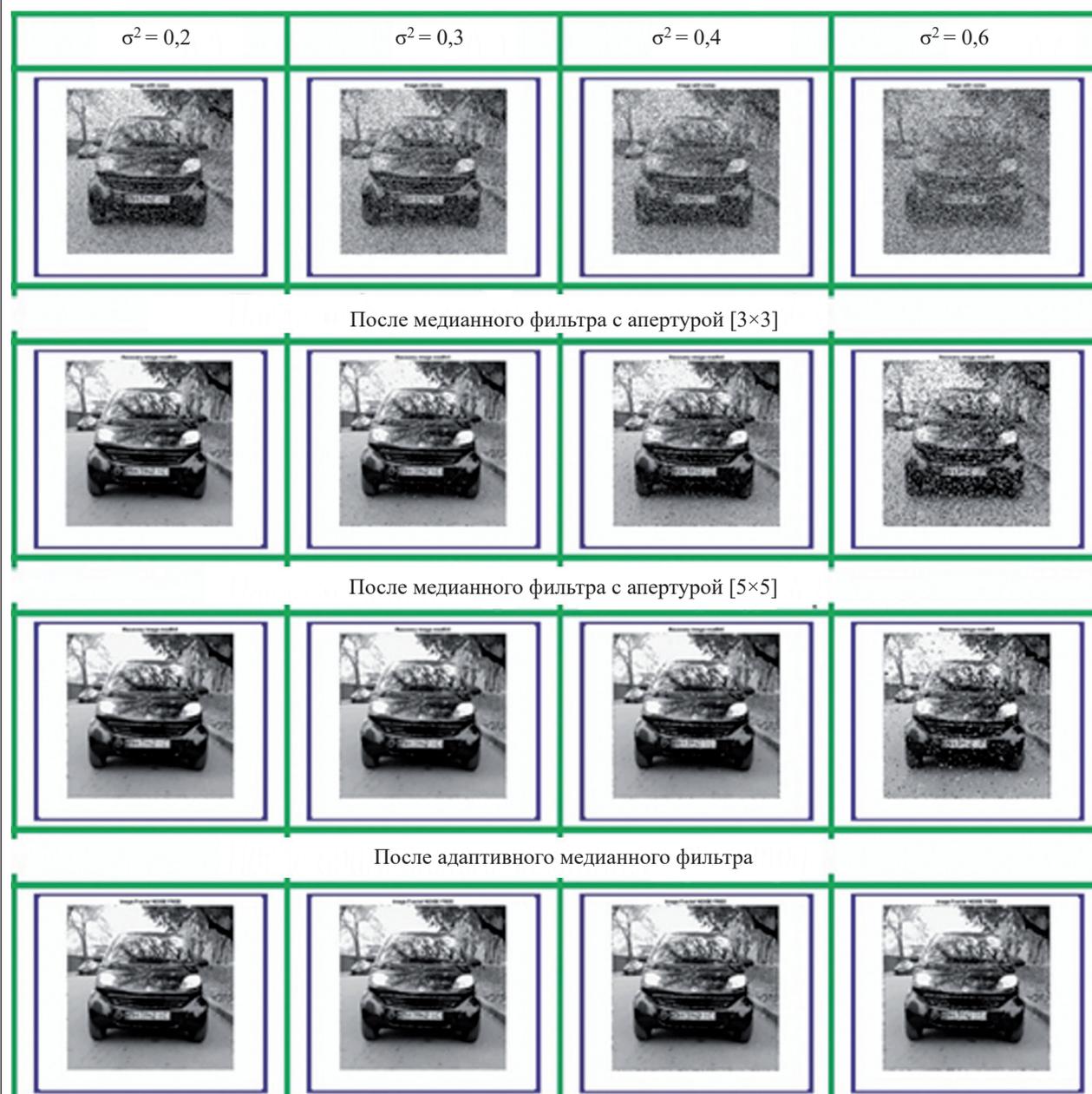


Рис 7. Примеры изображений, зашумленных импульсным шумом и очищенных с помощью медианных фильтров с апертурами [3x3] и [5x5] и адаптивного медианного фильтра, при различных значениях дисперсии

ниях дисперсии импульсного шума ($\sigma^2 > 0,3$) адаптивный алгоритм обеспечивает выигрыш в качестве изображения до 30% по критерию максимума коэффициента корреляции между восстановленным и незашумленным изображениями.

Заключение

Таким образом, использование алгоритма адаптивной медианной фильтрации позволило улучшить качество восстановленного изображения для случая импульсного шума по сравнению с алгоритмами медианной фильтрации, имеющими фиксированную апертуру. Выигрыш в показателях качества увеличи-

вается с ростом дисперсии шума изображения, подвергаемого фильтрации. В результате проведенного математического моделирования удалось установить значения размеров апертуры вспомогательного медианного фильтра, обеспечивающие максимальное значение коэффициента корреляции при заданной дисперсии импульсного шума исходного изображения. Предложенный алгоритм может быть обобщен на случай, когда высота изображения не равна его ширине, т. е. для стандартных размеров фотоснимков с соотношением сторон 3x4, 16x9, 21x10 и т. д., а также для обработки цветных изображений после их разбиения на монохромные каналы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Айфичер Э., Джервис Б. *Цифровая обработка сигналов. Практический подход*. Москва, Вильямс, 2004, 992 с.
2. Кельберт М., Питербарг Л. Медианная фильтрация. *Квант*, 1990, №10, с. 8–13.
3. Радченко Ю. С. Эффективность приема сигналов на фоне комбинированной помехи с дополнительной обработкой в медианном фильтре. *Журнал радиоэлектроники*, 2001, № 7, с. 45.
4. Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Yunjin Chen et al. Beyond a gaussian denoiser: residual learning of deep CNN for image denoising. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2017, vol. 26, N 7, p. 3142–3155. <https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2662206>
5. Видмиш А. А., Возняк О. М., Купчук І. М., Бойко Д. Л. Дослідження медіанної фільтрації одновимірних сигналів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020, № 1(96), с. 88–102.
6. Яровой Н. И. *Адаптивная медианная фильтрация*, Екатеринбург, ControlStyle, 2006, 38 с.
7. Chen Y., Pock T. Trainable nonlinear reaction diffusion: A flexible framework for fast and effective image restoration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2016, 14 p. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2596743>
8. Сизов Н. А., Раевский В. П., Дурандин Д. П. и др. Использование нейронных сетей для очистки изображений от шумов. *Молодой ученый*, 2019, № 27(265), с. 34–36.
9. Roth S., Black M. J. Fields of experts. *International Journal of Computer Vision*, 2009, vol. 82, N 2, p. 205–229. <https://doi.org/10.1007/s11263-008-0197-6>
10. Павлов С. В., Салдан Й. Р., Злепко С. М. та ін. Методи попередньої обробки томографічних зображень очного дна. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2019, т. 45, №. 2, с. 4–12.
11. Воробьев Н. Одномерный цифровой медианный фильтр с трехотсчетным окном. *ChipNews*. 1999, № 8, с. 35.
12. Семенов И. В. *Особенности использования медианных фильтров в системах управления*. С.-Пб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ “Электроприбор”, 2006, 77 с.
13. Дьяконов В. П. *MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров*. Саратов, Профобразование, 2019, 976 с.
14. Яне Б. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера, 2007, 584 с.
15. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. Москва, Техносфера, 2006, 616 с.

Дата поступления рукописи
в редакцию 22.03 2021 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2021.1-2.21
УДК 004.932.4

А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО,
О. В. ТРОЯНСЬКИЙ, Ю. О. САВЧУК*

Україна, м. Одеса,
Одеський національний політехнічний університет,
*ДП НДІ «Шторм»
E-mail: koa@oru.ua

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ІМПУЛЬСНОГО ШУМУ НА ЗОБРАЖЕННЯХ З КАМЕР ВІДЕОПОСТЕРЕЖЕННЯ

Для перетворення оптичного сигналу в електричний зазвичай використовують світлочутливі матриці з великим числом дискретних елементів, виконаних за технологією приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) або на основі КМОП-технології.

До недоліків ПЗЗ і КМОП-технологій можна віднести виникнення імпульсного шуму перетворення на оцифрованих зображеннях, який погіршує візуальне сприйняття й істотно знижує ймовірність правильної ідентифікації в задачах розпізнавання образів. Зазвичай для очищення зображень від імпульсного шуму застосовують медіанні фільтри з фіксованою апертурою в межах кожної ітерації повноформатної обробки. До недоліків таких фільтрів можна віднести зниження чіткості відновленого зображення за великих рівнів шуму або недостатнє придушення завади за тих же шумових умов. Ці недоліки зумовили необхідність розробки алгоритму адаптивної медіанної фільтрації, в результаті якої відтворене зображення являє собою спільний результат обробки медіанними фільтрами з різною апертурою.

Суть алгоритму полягає у виділенні ділянок зображення з різним рівнем шуму та обробці цих ділянок фільтрами з різною апертурою. За об'єктивний критерій для оцінки ефективності роботи запропонованого алгоритму фільтрації прийнято критерій максимуму коефіцієнта кореляції між очищеним від шуму та незашумленим зображеннями за різних значень дисперсії шуму. В результаті проведеного математичного моделювання було встановлено, що зі зростанням дисперсії імпульсного шуму виграш алгоритму адаптивної медіанної фільтрації зростає по експонентному закону в порівнянні з алгоритмами, в яких використовуються фільтри з фіксованим значенням апертури.

Запропонований алгоритм можна використовувати для попередньої обробки зображень, призначених для розпізнавання системами машинного зору, сканування тексту, а також для поліпшення суб'єктивних характеристик зображення, таких як чіткість і контрастність.

Ключові слова: медіанний фільтр, імпульсний шум, апертура фільтру, коефіцієнт кореляції.

ADAPTIVE ALGORITHM FOR REDUCING PULSE NOISE LEVEL
IN IMAGES FROM CCTV CAMERAS

An optical signal is usually converted into an electrical one by using photosensitive matrices with a large number of discrete elements based on charge-coupled device (CCD) technology or CMOS technology.

One of the disadvantages of CCD and CMOS technologies is the impulse conversion noise that appears on digitized images, impairing visual perception and significantly reducing the likelihood of correct identification in pattern recognition tasks. Traditionally, impulse noise is removed from images using median filters with a fixed aperture within each iteration of full-format processing. However, such filters reduce the sharpness of the reconstructed image at high noise levels or insufficiently suppress the interference under the same noise conditions. These setbacks call for a need to develop an adaptive median filtering algorithm, which would produce a reconstructed image as a joint result of processing with median filters with different apertures.

The essence of this algorithm is to select image areas with different noise levels and process these areas with filters with different apertures. As an objective criterion for assessing the efficiency of the proposed filtering algorithm, the authors used the criterion of the maximum correlation coefficient between noise-free and non-noisy images at various values of the noise variance. The mathematical modeling performed in this study allowed finding that with an increase in the impulse noise variance, the gain of the adaptive median filtering algorithm increases exponentially, in comparison with the algorithms using the filters with a fixed aperture value.

The proposed algorithm can be used for pre-preprocessing images intended for recognition by machine vision systems, scanning text, and improving subjective image characteristics, such as sharpness and contrast.

Keywords: median filter, impulse noise, filter aperture, correlation coefficient.

REFERENCES

1. Aificher E., Jervis B. *Tsifrovaya obrabotka signalov. Prakticheskiy podhod [Digital signal processing. Practical hike]*. Moscow, Wilyams, 2004, 992 p. [Rus]
2. Kelbert M., Piterbarg L. *Mediannaya fil'tratsiya [Median filtration]*. Kvant, 1990, no. 10, pp. 8–13. [Rus]
3. Radchenko Yu. S. [Signal reception efficiency against the background of combined interference with additional processing in the median filter]. *Zhurnal radioelektroniki*, 2001, no. 7, pp. 45. [Rus]
4. Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Yunjin Chen et al. Beyond a gaussian denoiser: residual learning of deep CNN for image denoising. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2017, vol. 26, no. 7, pp. 3142–3155. <https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2662206>
5. Vydmysh A. A., Voznyak O. M., Kupchuk I. M., Boyko D. L. [Research of median filtering of one-dimensional signals]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, 2020, no.1(96), pp. 88–102. [Ukr]
6. Yarovoy, N. I. *Adaptivnaya mediannaya filtratsiya [Adaptive median filtration]*. Ekaterinburg, ControlStyle, 2006, 38 p. [Rus]
7. Chen Y., Pock T. Trainable nonlinear reaction diffusion: A flexible framework for fast and effective image restoration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2016, 14 p. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2596743>
8. Sizov N. A., Rayevskiy V. P., Durandin D. P. et al. [The use of neural networks for cleaning images from noise]. *Molodoy uchenyy*, 2019, no. 27(265), pp. 34–36. [Rus]
9. Roth S., Black M. J. Fields of experts. *International Journal of Computer Vision*, 2009, vol. 82, no. 2, pp. 205–229. <https://doi.org/10.1007/s11263-008-0197-6>
10. Pavlov S. V., Saldan Y. R., Zlepko S. M. et al. Method of pre-processing tomographic images of the fundus. *Information technology and computer engineering*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 4–12. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2019-45-2-4-12> [Ukr]
11. Vorobyov N. [One-dimensional digital median filter with three-count window]. *ChipNews*, 1998, no. 8, pp. 35. [Rus]
12. Semyonov I. V. *Osobennosti ispolzovaniya mediannykh filtrov v sistemah upravleniya [Features of the use of median filters in control systems]*. S.-Pb., GNTs RF-TsNII “Elektropribor”, 2006, 77 p. [Rus]
13. D'yakov V. P. *MATLAB i SIMULINK dlya radioinzhenerov [MATLAB and SIMULINK for radio engineers]*. Saratov, Profobrazovaniye, 2019, 976 c.
14. Yane B. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing]*. Moscow, Technosfera, 2007, 584 p. [Rus]
15. Gosales R., Wuds R., Eddins S. *Tsifrovaya obrabotka v srede MATLAB [Digital image processing]*. Moscow, Technosfera, 2006, 616 p. [Rus]

Описание статьи для цитирования:

Садченко А. В., Кушниренко О. А., Троянский А. В., Савчук Ю. А. Адаптивный алгоритм снижения уровня импульсного шума на изображениях с камер видеонаблюдения. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2021, № 1–2, с. 21–27. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.1-2.21>

Cite the article as:

Sadchenko A. V., Kushnirenko O. A., Troyanskiy A. V., Savchuk Yu. A. Adaptive algorithm for reducing pulse noise level in images from cctv cameras. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2021, no. 1–2, pp. 21–27. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.1-2.21>