

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ В ВИДЕОПЛОСКОСТЯХ

Рассмотрена задача повышения характеристик алгоритмов обнаружения объектов в видеопоследовательностях путем подавления помех природного происхождения. Представлены результаты экспериментов, показывающих возможность эффективного подавления импульсных помех медианными фильтрами.

Введение

Со второй половины 1970-х годов внимание специалистов по компьютерному зрению приковано к задаче выделения подвижных объектов в видеопоследовательностях. Решение данной задачи актуально для повышения технических характеристик разработок и проведения исследований в ряде областей (робототехнике, экологическом мониторинге, экспериментальной физике и т.п.). В последние годы развитие компьютерного зрения стимулировало появление ряда автоматических охранных систем, а также систем коммерческого осмотра (например, системы подсчета хлебобулочных изделий, едущих по конвейеру).

Выделение объектов осложняется тем, что: 1) в ряде приложений видеосъемка производится в условиях, когда есть существенные мешающие факторы (на улице есть изменения освещенности и наличие теней у высоких объектов, в периоды ненастной погоды есть помехи природного происхождения и т.п.); 2) в некоторых случаях отсутствует часть информации об искомым объектах или отличие объектов от окружающей обстановки невелико.

При распознавании (определении класса) объектов проблемой является то, что объекты наблюдаются в некотором диапазоне углов и масштабов по мере их движения относительно камеры.

Кроме того, общее для выделения и распознавания требование обработки видеоинформации в реальном времени накладывает ограничение сверху на сложность алгоритмов.

Подавление импульсных помех в видеопоследовательности

Представим изображение наблюдаемой сцены в виде совокупности множеств пикселей, принадлежащих разным семантическим классам. При этом каждый пиксель принадлежит только одному из классов, т.е. множества не пересекаются. Тогда полное изображение наблюдаемого кадра I в случае отсутствия помех может быть описано в виде суперпозиции этих множеств пикселей

$$I = O + S + B = O + S + (A + U)$$

где O - множество пикселей (м. п.) интересующих нас объектов, S - м. п. неинтересных нам объектов, B - м. п. фона, A - м. п. незатененных участков фона, U - м. п. затененных участков фона.

В условиях ненастной погоды (дождь, снег и т.п.) на получаемом от камеры изображении объекты оказываются поврежденными, т.е. яркость пикселей, принадлежащих объектам, заменяется на яркости снежинок или капель дождя:

$$I' = N + O' + B' + S'$$

где $N = (O - O') + (B - B') + (S - S')$ - м. п. помех различного происхождения (в том числе от падающих листьев во время листопада, градин во время града и т.п.), O' - усеченное м. п. объектов, B' - усеченное м.п. фона, S' - усеченное м. п. неинтересных нам объектов.

Кроме ненастной погоды, причиной искажения видеозаписи может является повреждение носителя записи. Например, в кинематографии актуальной задачей является реставрация старых кинофильмов [1].

Целью устранения импульсных помех является как можно более точное восстановление множества пикселей O , но попутно, как правило, восстанавливают также множества B и S :

$$I'' = f(I') = O'' + B'' + S'', \text{card}(N'') = 0.$$

Методы устранения помех делятся на два класса: 1) методы без обнаружения поврежденных пикселей, в которых может производиться замена яркостей всех пикселей изображения по некоторому алгоритму; 2) методы с обнаружением поврежденных пикселей и заменой (в случае правильного обнаружения исправлением) яркости только этих пикселей.

Большинство алгоритмов первого класса основаны на ранговых операциях, т.е. формировании значения яркости пикселя выходного изображения на основе построения вариационного ряда яркостей пикселей области входного изображения, включающей в себя текущий обрабатываемый пиксель.

Вариационным рядом совокупности из N чисел $\{f\}$ называется последовательность $\{f_r\}$, в которой эти числа упорядочены по неубыванию: $f_1 \leq f_2 \leq f_3 \leq \dots \leq f_N$ [4 с.236]. Значение с индексом r называется порядковой статистикой (или статистикой порядка r), а само это число r (порядковый номер числа f_r в вариационном ряду) - рангом. Для ранговых алгоритмов нелинейный оператор преобразования строится через вариационный ряд яркостей пикселей в окрестности, центром которой является пиксель входного изображения, для которого формируется выходное значение. Форма и размер окрестности могут быть любыми.

Примеры алгоритмов второго класса можно найти в работах [1; 2; 3 с.31, 8].

Иногда используются фильтры взвешенных порядковых статистик [7].

Все указанные алгоритмы применялись в случаях, когда не рассматривалась задача обнаружения движущихся объектов. В качестве критерия точности восстановления изображения обычно используют среднеквадратическое отклонение СКО [8 с.18; 10] или связанные с СКО величины (PSNR). Важно узнать, какие фильтры более эффективны для применения в решении задачи обнаружения по показателям вероятности правильного обнаружения пикселей внутри объекта и ложного обнаружения пикселей вне объекта.

Исследуемые алгоритмы подавления помех

Исследованы четыре алгоритма подавления импульсных помех: три алгоритма первого класса (комбинация медианных фильтров; пара морфологических операций «эрозия»; процентильный фильтр «псевдоэрозия» [5]) и один алгоритм из второго класса (пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных шумов [3 с. 31]).

Комбинация медианных фильтров представляла последовательность из медианного фильтра с окрестностью размером 5x5 пикселя в форме креста и медианного фильтра с окрестностью размером 3x3 пикселя в форме креста. Медианным фильтром называется оператор выбора порядковой статистики с рангом, занимающим среднее положение в вариационном ряду (в случае окрестности размером 3x3 пикселя в форме креста длина вариационного ряда равна $N = 5$, т.е. выходное значение медианного фильтра будет соответствовать порядковой статистике $f_3^{N=5}$).

Операция математической морфологии «эрозия» представляет собой оператор выбора порядковой статистики f_1 , занимающей самое низкое положение в вариационном ряду, т.е. присваивание пикселю выходного изображения минимальной яркости в окрестности. Использовалась окрестность размером 2x2 пикселя.

Процентильный фильтр (ПФ) «псевдоэрозия» [5] представляет собой оператор выбора ранга ниже медианы вариационного ряда в зависимости от вероятности зашумления изображения:

$$f_{r=r_{PE}}^N, r_{PE} = med - (\sqrt{N} - \frac{P_T}{5}) - k,$$

где P_T – вероятность повреждения изображения, выраженная в процентах (умноженная на 100), med – медиана вариационного ряда, N – длина вариационного ряда, k – поправка на содержание изображения (величина от 0 до 2, причем, чем больше размеры областей с объектами, тем больше поправка).

В случае окрестности размером 5x5 пикселей и вероятности повреждения изображения $P_T=0,1$ этот оператор реализует выбор 9-го ранга из 25.

Пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных шумов реализует замену яркости пикселя входного изображения $I(x, y)$, сильно отличающегося от средней яркости окружающих его пикселей, на среднюю яркость окружающих его пикселей $\bar{I}(x, y)$:

$$I'(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & |I(x, y) - \bar{I}(x, y)| < T \\ \bar{I}(x, y), & |I(x, y) - \bar{I}(x, y)| \geq T \end{cases}$$

где $I'(x, y)$ – яркость пикселя в выходном изображении, T – порог на отличие $I(x, y)$ от $\bar{I}(x, y)$. В исследовании были приняты следующие параметры: порог на отклонение от средней яркости по окрестности равен 50 уровней яркости, для расчета средней яркости использовалась окрестность размером 5x5 пикселя.

В применяемом алгоритме выделения подвижных объектов [6] используются два изображения: текущий кадр и изображение оценки фоновой составляющей сцены.

Суть алгоритма сводится к объединению информации о движущихся областях и движущихся контурах (границах объектов).

Изображение оценки фоновой составляющей сцены формируется фильтрацией яркостей пикселей ряда кадров в направлении оси времени (желательно использовать более 60 кадров). Простейшим оператором формирования изображения оценки является простое усреднение яркости пикселей всех кадров. В проведенном исследовании для формирования изображения оценки фона использовался фильтр Калмана. После приема кадра производится предварительная обработка с целью подавления импульсных помех. Исследование описанных выше алгоритмов с точки зрения эффективности их использования в предварительной обработке проведено в следующем разделе.

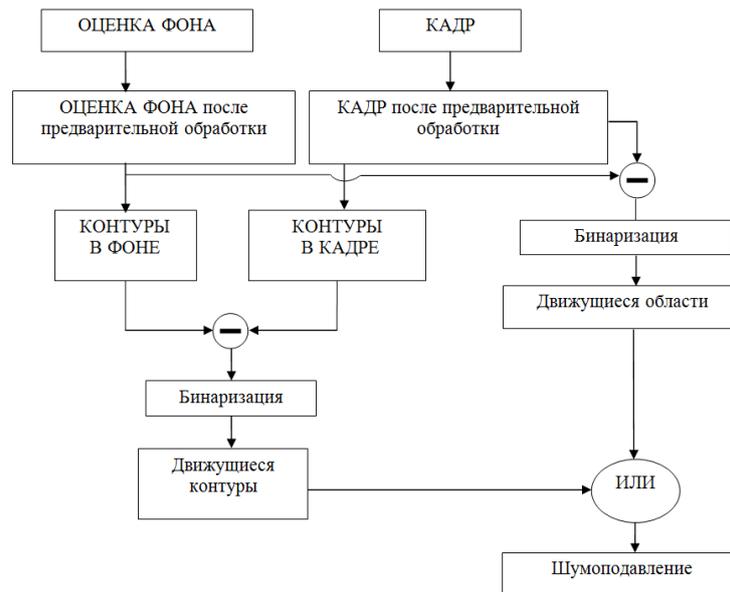


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обнаружения пикселей, которые могут принадлежать подвижным объектам.

Исследование алгоритмов подавления импульсных помех

Методика исследования: искажение кадра импульсным шумом типа «соль» (данный тип шума использовался для имитации снежинок) с вероятностью повреждения изображения $P_1=0,1=10\%$, применение алгоритма подавления помех к кадру и изображению фона, обнаружение объектов на основе изображений кадра и фона с подавленными помехами. Полученные после предварительной обработки изображения кадра и оценки фона представлены на рис. 3 и 4.

Для повреждения изображения импульсным шумом типа «соль» используется замена яркости пикселей изображения, для которых генератор случайных чисел выдал значение меньше или равное 0.1, на яркость белого цвета в цветовой системе RGB:

$$I^N(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & \text{random} > 0.1 \\ RGB(255, 255, 255), & \text{random} \leq 0.1 \end{cases}$$

Порог чувствительности алгоритма обнаружения к разнице яркостей пикселей кадра и оценки фона, а также их контурных препаратов, изменялся от 0 до 150 уровней яркости, что позволило построить графики зависимостей суммы вероятностей ложной

тревоги и ложного пропуска от порога чувствительности (рис. 2). Вероятности выражены в процентах.

Вероятности рассчитывались не подсчетом правильно обнаруженных и ложно обнаруженных объектов, а подсчетом правильно обнаруженных и ложно обнаруженных пикселей, поскольку в алгоритме выделения подвижных объектов не используются какие-либо модели или изображения искомых объектов. Итоги

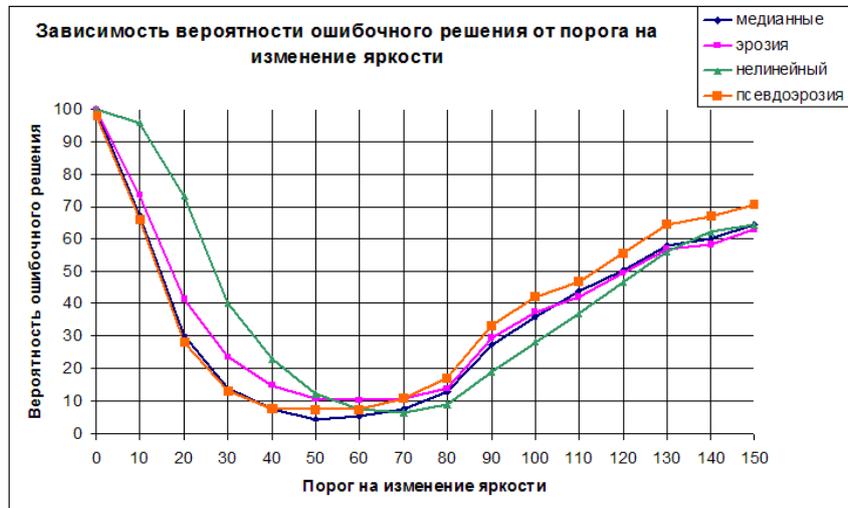


Рис. 2. Графики зависимостей суммы вероятностей ложной тревоги и ложного пропуска от порога для разных алгоритмов шумоподавления.

исследования: для медианных фильтров минимальная вероятность принятия ошибочного решения (суммы вероятностей ложной тревоги и ложного пропуска) 4,668% при порогах 50 уровней, для эрозии – 10,477% при порогах 60 уровней, для порогового метода нелинейной фильтрации импульсных шумов - 6,359% при порогах 70 уровней, для псевдоэрозии - 7,372% при порогах 50 уровней. Таким образом, при данной довольно высокой вероятности повреждения изображения комбинация медианных фильтров является лучшим алгоритмом подавления импульсных помех среди протестированных. Давно известно, что медианная фильтрация реализует минимаксную аппроксимацию [9 с.78] и с ростом уровня шума перестраиваемые (в смысле смены выходного ранга[5]/весов порядковых статистик[10]) фильтры на основе порядковой статистики вырождаются в медианный фильтр. Ухудшение результатов остальных алгоритмов связано с искажением яркости контуров объектов и участков фона.

Заключение

Были рассмотрены основные подходы к подавлению импульсных помех: методы без обнаружения и с обнаружением поврежденных пикселей. Приведены результаты исследования алгоритмов подавления помех, причем эффективность подавления помех оценивалась как мера ухудшения выделения движущихся объектов по сравнению с эталонным выделением объектов. По результатам исследования был сделан вывод, что комбинация медианных фильтров является лучшим алгоритмом подавления импульсных помех среди протестированных. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением других алгоритмов, использующих детекторы шума.

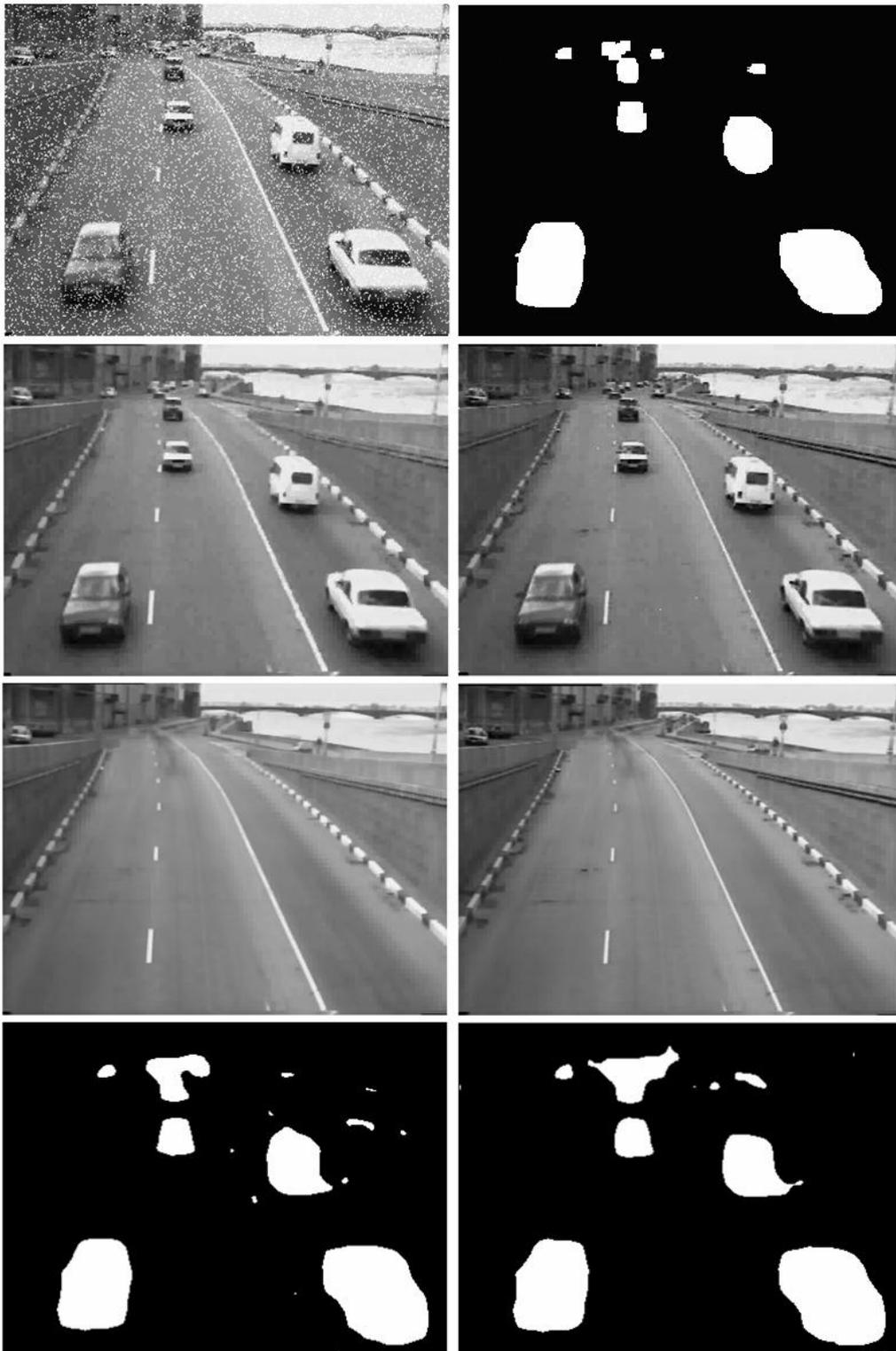


Рис. 3. Верхний ряд: изображение зашумленного кадра и эталонного выделения объектов. Второй ряд: изображения кадра, к которому применена комбинация медианных фильтров слева, пара операций эрозия справа. Третий ряд: изображения фона, к которому применена комбинация медианных фильтров слева, пара операций эрозия справа. Нижний ряд: результаты работы алгоритма выделения подвижных объектов (комбинация медианных фильтров слева, пара операций эрозия справа).

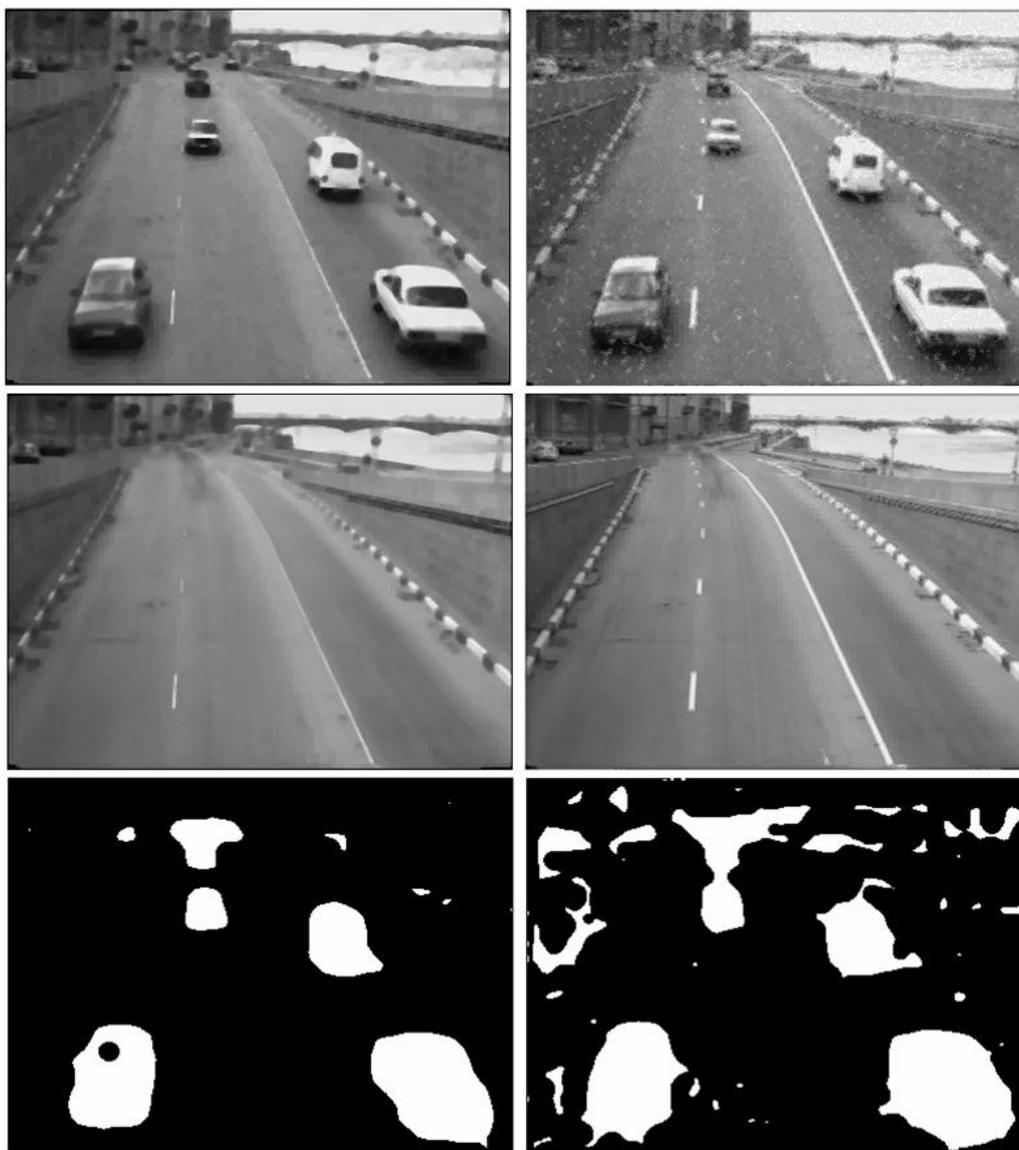


Рис. 4. Верхний ряд: изображения кадра, к которому применены операторы подавления помех (ПФ псевдоэрозия слева, пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных шумов справа). Второй ряд: изображения фона, к которому применены операторы подавления помех (ПФ псевдоэрозия слева, пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных шумов справа). Нижний ряд: результаты работы алгоритма выделения подвижных объектов (ПФ псевдоэрозия слева, пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных шумов справа).

Список литературы

1. Кустова М.А. Реставрация киноизображений методами математической морфологии// Материалы 4-ой международной научно-технической конференции и конкурса студенческих работ «Цифровые и информационные технологии в электронной медиаиндустрии-2006». СПб: СПбГУКиТ, 2006. С. 13.

2. Переключающийся медианный фильтр с блоком предварительного детектирования/ Приоров А.Л., Апальков И.В., Бухтояров С.С., Хрящев В.В. // Цифровая обработка сигналов, № 4. 2006. с. 2-7.
3. Андреев А.Л. Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть II. Арифметико-логические основы и алгоритмы. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. СПб.: СПбГУИТМО, 2005. 88 с.
4. Методы компьютерной обработки изображений/Под ред. В.А. Сойфера. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
5. Кузьмин С.А. Исследование помехоустойчивости ранговых операторов//Доклады 10-й Международной конференции и выставки «Цифровая обработка сигналов и её применение». М., 2008. Т. 2. С. 501-504.
6. Кузьмин С.А. Обработка видеоинформации в системе мониторинга транспортных потоков//Доклады 9-й Международной конференции и выставки «Цифровая обработка сигналов и её применение». М., 2007. Т. 2. С. 361-365.
7. Bovik, A.; Huang, T.; Munson, D., Jr. Edge-sensitive image restoration using order-constrained least squares methods, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 33, N. 5, 1985. Pp. 1253 – 1263.
8. Обработка изображений в прикладных телевизионных системах/О.С. Астратов, А.С. Афанасенко, Л.Д. Вилесов, С.А. Кузьмин, А.А. Мотыко, Н.А. Обухова, В.М. Смирнов, Б.С. Тимофеев, В.Н. Филатов. Под ред. проф. Б.С. Тимофеева. СПб.: ГУАП, 2012. 272 с.
9. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Советское радио, 1978. 384 с.
10. A.C. Bovik, T.S. Huang and D.C. Munson, A generalization of median filtering using linear combinations of order statistics, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 31, N. 6, 1983. Pp. 1342– 1350.