

УДК 004.932.4

А.С. Толмачева, А.В. Каменский, А.А. Тисленко, Д.В. Титов

Применение быстродействующих рекурсивно-сепарабельных фильтров для обработки зашумленных изображений

Приводится описание разработанных алгоритмов реализации быстродействующих фильтров, на примере фильтра скользящее среднее и трапецеидального рекурсивно-сепарабельного фильтра. Представлены результаты по оценке быстродействия разработанных алгоритмов с размерностью апертуры 7×7 элементов в сравнении с классической двумерной сверткой. Оценено влияние обработки изображений, сформированных активно-импульсными телевизионно-измерительными системами на точность определения расстояния до объектов интереса. В рамках исследования проводилось изменение центрального элемента масок разработанных фильтров в диапазоне коэффициентов фильтрации от -14 до 14 , параллельно с этим осуществлялся контроль отношения сигнал/шум для обработанных изображений.

Ключевые слова: обработка изображений, измерение дальности, трапецеидальный рекурсивно-сепарабельный фильтр, фильтр скользящего среднего, сглаживающие фильтры, отношение сигнал/шум, быстродействующие алгоритмы.

DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-56-62

В настоящее время актуальной задачей является дистанционное измерение дальности до объектов наблюдения, особенно при сложных условиях видимости. Для решения данной задачи используются активно-импульсные телевизионно-измерительные системы (АИ ТИС). Они применяются для нахождения объектов в сложных условиях видимости, например, плохой освещенности или сложных метеоусловиях, к которым относятся: туман, дымка, дождь, пыль, снегопад и т.д. [1, 2]. Данные факторы могут привести к появлению различных шумов и искажений в сформированных АИ ТИС изображениях. Подробнее с работой АИ ТИС можно ознакомиться в публикациях [3, 4].

Помехи, искажения и шумы на изображениях являются одной из важнейших проблем в современной науке и технике. Для того чтобы убрать или максимально уменьшить искажения на цифровых изображениях применяется цифровая обработка изображений.

Широко используемыми цифровыми фильтрами являются сглаживающие фильтры, которые подавляют шумы на сформированных АИ ТИС изображениях. Один из широко известных фильтров – это фильтр скользящего среднего (СС) [5, 6]. Данный фильтр в классическом виде имеет апертуру размером 3×3 элемента, которая заполнена единицами, однако не всегда апертура мелкого размера дает приемлемый результат. Поэтому используются апертуры большего размера, однако рост апертуры приводит к росту вычислительных операций, требуемых для обработки изображений. Ввиду вышесказанного при росте размеров апертур обработки целесообразно производить модификацию алгоритмов работы фильтров для сокращения времени обработки. Одним из таких методов является преобразование алгоритма к рекурсивно-сепарабельному (РС) виду [7, 8]. Это означает, что при работе процедура обработки разделяется на ряд подопераций, которые отдельно осуществляют обработку по строкам и столбцам

матрицы параметров изображения. Свойство рекурсии позволяет использовать предыдущий полученный результат для формирования нового отсчета выходной информации [9, 10].

Представлено применение данных принципов для задач шумоподавления с использованием двух цифровых фильтров в РС-форме построения.

Цифровой фильтр скользящего среднего

Фильтр скользящее среднее представляет собой разновидность цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой либо фильтра с бесконечной импульсной характеристикой [11, 12]. Этот фильтр используется для обработки цифровых изображений, в частности, для подавления шумов. На рис. 1 представлена структурная схема РС-фильтра СС. В базовой процедуре свертки исходное изображение сворачивается с полной маской фильтра СС, однако при РС-алгоритме происходит разделение маски на строку и столбец, состоящих из единиц. За счет этого разделения происходит уменьшение вычислительных затрат, требуемых на процесс обработки.

Из описанных процессов, протекающих в фильтре, следует, что исходное изображение, представленное на рис. 1 в виде входного сигнала $x(n_1, n_2)$, умножается на коэффициент фильтрации A_2 . После чего изображение обрабатывается строчным рециркулятором [13] с размером апертуры $M_1 = m_1$ и кадровым рециркулятором с размером апертуры $M_2 = m_1$. Во второй ветви структурной схемы представлен коэффициент A_1 , который является коэффициентом фильтрации для увеличения центрального элемента апертуры, и элементы задержки, обеспечивающие смещение коэффициента A_1 . Ветви с определенным знаком поступают на сумматор, и в результате получается выходной сигнал $y(n_1, n_2)$.

Далее рассматривается пример формирования коэффициентов фильтра для маски размером 7×7 элементов. В ходе выполнения внутренних расчетов алгоритм определяет значение переменных пара-

метров m_1 и c . Так, для размерности 7×7 они будут следующие: $m_1 = 7$ и $c = 3$.

Во время процедуры обработки один из коэффициентов фильтрации A_1 или A_2 принимает значение, равное нулю, в то время, когда происходит изменение другого коэффициента.

Цифровой трапецеидальный рекурсивно-сепарабельный (ТРС) фильтр

На рис. 2 представлена структурная схема двумерного ТРС-фильтра с реализацией изменения размера сканирующей многомерной апертуры.

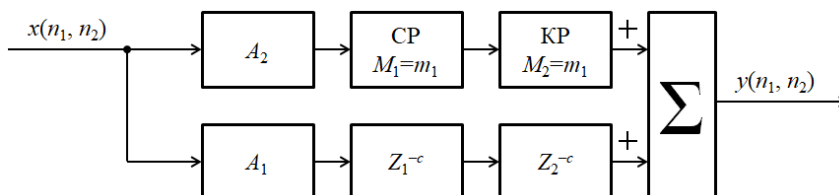


Рис. 1. Структурная схема фильтра СС в РС-форме построения

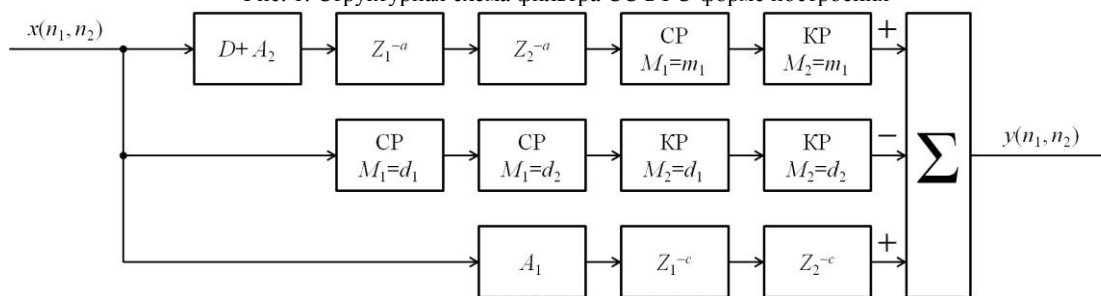


Рис. 2. Структурная схема ТРС-фильтра

По второй ветви структурной схемы изображение обрабатывается двумя строчными рециркуляторами с размерами апертур $M_1 = d_1$ и $M_1 = d_2$, после чего происходит процесс обработки двумя кадровыми рециркуляторами с размерами апертур $M_2 = d_1$, $M_2 = d_2$.

В третьей ветви представлен коэффициент A_1 , который является коэффициентом для увеличения центрального элемента апертуры и задержки z_1^{-c} и z_2^{-c} , обеспечивающих его совмещение с центром апертуры ТРС-фильтра. Сформированные данные с определенным знаком поступают на сумматор, и в результате формируется выходной сигнал $y(n_1, n_2)$.

Рассмотрим пример формирования коэффициентов фильтра для маски размером 7×7 элементов. В ходе выполнения внутренних расчетов алгоритм определяет значение переменных параметров D, a, m_1, d_1, d_2 и c . Так, для размерности 7×7 они будут таковы: $D = 5,76; a = 1; m_1 = 5; d_1 = 6; d_2 = 2$ и $c = 3$.

Описание эксперимента

Эксперимент заключался в том, чтобы с помощью цифровых фильтров (СС и ТРС) увеличить отношение сигнал/шум (ОСШ) сформированных АИ ТИС изображений для повышения точности определения до объектов интереса.

Эксперимент включает в себя 5 этапов:

1. Обработка исходных данных цифровыми фильтрами с изменением центрального элемента апертуры обработки. Исходный размер апертуры

В работе алгоритма ТРС-фильтра есть ряд отличий от РС фильтра СС, далее рассмотрена его работа. Входное изображение умножается на коэффициент D , который используется для корректной работы алгоритма ТРС-фильтра, а в случае подъема центрального элемента апертуры к нему добавляется коэффициент A_2 . После чего изображение обрабатывается строчным рециркулятором с размером апертуры $M_1 = m_1$ и кадровым рециркулятором с размером апертуры $M_2 = m_1$. Значения рециркуляторов рассчитываются автоматически в зависимости от заданной размерности фильтра обработки.

был выбран 7×7 элементов. Центральный элемент увеличивался за счет коэффициента A_1 на значение от 1 до 14 с шагом 1 и уменьшался с 2 до 14 с шагом 2.

2. Расчет дальности до объектов интереса.

3. Оценка изменения ОСШ.

4. Контроль времени обработки СС- и ТРС-фильтрами при РС-реализации для дальнейшего сравнения с временем работы алгоритма классической двумерной свертки (КДС).

5. Анализ полученных результатов.

Расчет дальности до объекта и измерение отношения сигнал/шум

Для получения «карты глубины» наблюдаемого пространства в АИ ТИС используется многозонный метод измерения дальности, который основан на делении кадров, содержащих суммарную активную зону видения (АЗВ), на кадр, содержащий первую АЗВ. АЗВ – это видимая измерительной системой часть пространства при заданных временных параметрах сигналов оптического импульса подсвета пространства и импульса стробирования фотоприемника. В данном эксперименте использовался многозонный метод измерения дальности. Метод основан на формировании двух кадров одной и той же сцены и последующем нормировании второго кадра относительно первого. Первый кадр содержит АЗВ, описывающую всю протяжённость просматриваемого пространства, а второй кадр содержит множество просуммированных изображений, которые отлича-

ются на шаг задержки стробирования АЗВ [14]. Полученные значения яркости пикселей $I(x, y)$ в результирующем кадре нормированы в диапазоне от 0 до 1.

Дальность до объектов рассчитывалась исходя из выражения

$$D(x, y) = (I(x, y) - b)/k, \quad (1)$$

где $D(x, y)$ – дистанция до наблюдаемых объектов в каждом пикселе результирующего изображения; $I(x, y)$ – значения яркости пикселей; k и b – калибровочные коэффициенты. Калибровочные коэффициенты k и b равны $-0,0062$ и $1,1142$ соответственно, были получены в эксперименте по одиночному объекту, который перемещался на заранее известные расстояния. После производилась фиксация значений яркости пикселей одиночного объекта и делалась линейная аппроксимация полученных результатов, в результате были получены коэффициенты линейной функции, которые являются калибровочными коэффициентами [15].

Оценка ОСШ проводилась при помощи программного обеспечения (ПО) ImageJ. ImageJ – открытое ПО для обработки и анализа цифровых изображений. В ПО ImageJ на тестовом изображении выбиралась область, по которой происходило измерение дальности до объекта, и строилась гистограмма. По полученной гистограмме ПО ImageJ определяло данные о среднем значении яркости и стандартном отклонении. На основе этих данных по области измерения производится расчет ОСШ по выражению

$$\text{SNR}_{\text{дб}} = 20 \log_{10}(M/\sigma), \quad (2)$$

где M – среднее значение яркости; σ – стандартное отклонение.

Исходные данные

Для проведения экспериментов были взяты изображения объектов, которые получены на испытательном полигоне, такие как «транспарант 1» (далее – объект № 1), «антенна» (объект № 2) и «транспарант 2» (объект № 3). Изображение объекта № 1 в кадре с первой АЗВ, взятого для проведения эксперимента, представлено на рис. 3.



Рис. 3. Изображение объекта 1 в кадре с первой АЗВ

Изображение объекта № 1 в кадре с суммарной АЗВ взятого для проведения эксперимента, представлено на рис. 4.

На рис. 3 и 4 представлен транспарант 1 в виде белого прямоугольника. Черной рамкой выделена

область, по которой определялась дальность объекта. Результаты измерения дальности до объекта № 1 лазерным дальномером составили 11 м, изображение, полученное АИ ТИС без обработки, показал результат 11,12 м. Разница в результатах составила 1,09%.



Рис. 4. Изображение объекта 1 в кадре с суммарной АЗВ

Обработка ТРС-фильтром и фильтром СС

Результаты эксперимента измерения дальности по формуле (1) сравнивались со значениями, полученными лазерным дальномером и АИ ТИС без обработки. Данные результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения дальности до объектов без применения обработки

Вид измерения	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3
Лазерный дальномер, м	11,00	37,68	34,97
АИ ТИС без обработки, м	11,12	37,45	34,78

На рис. 5 представлен график с результатами измерения дальности до объекта № 1 после обработки ТРС- и СС-фильтром при изменении центрального элемента апертуры фильтров.

Лучший результат для объекта № 1, который был приближен к результатам измерения лазерным дальномером, достигнут при увеличении центрального элемента фильтра СС на коэффициент 1, а большую ошибку показали коэффициенты от -14 до -10 . Лучший результат – увеличение центрального элемента фильтра ТРС на коэффициент 5, а большую ошибку показали коэффициенты 4 и 10.

Лучший результат для объекта № 2, который был приближен к результатам измерения лазерным дальномером, достигнут при увеличении центрального элемента фильтра СС на коэффициент 1, а большую ошибку показали коэффициенты -10 . Лучший результат – увеличение центрального элемента фильтра ТРС на коэффициент 1, а большую ошибку показали коэффициенты 12 и 13.

Лучший результат для объекта № 3, который был приближен к результатам измерения лазерным дальномером, достигнут при увеличении центрального элемента фильтра СС на коэффициент 5, а большую ошибку показали коэффициенты -6 . Лучший результат – увеличение центрального элемента фильтра ТРС на коэффициент 1, а большую ошибку показали коэффициенты -14 и 10.

Результаты измерения отношения сигнал/шум по формуле (2) для изображений, полученных с АИ ТИС без обработки, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты измерения отношения сигнал/шум без применения обработки

Вид измерения	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3
АИ ТИС без обработки, м	14,35	15,62	14,95

На рис. 6 представлен график отношения сигнал/шум для объекта № 1 на изображении с первой АЗВ, обработанного с помощью фильтров СС и ТРС при изменении центрального элемента апертуры фильтров. На рис. 7 представлен график отношения сигнал/шум для объекта № 1 на изображении с суммарной АЗВ, обработанных с помощью фильтров СС и ТРС при изменении центрального элемента апертуры фильтров.

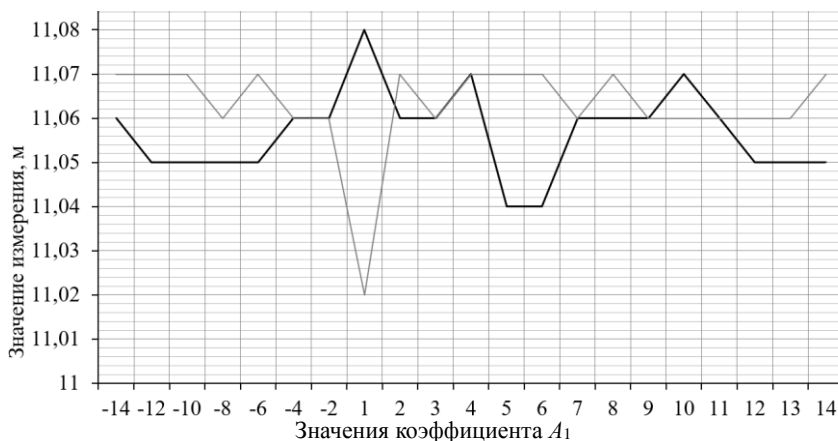


Рис. 5. График измерения дальности до объекта № 1:
— результат с обработкой ТРС-фильтром; — результат с обработкой СС-фильтром

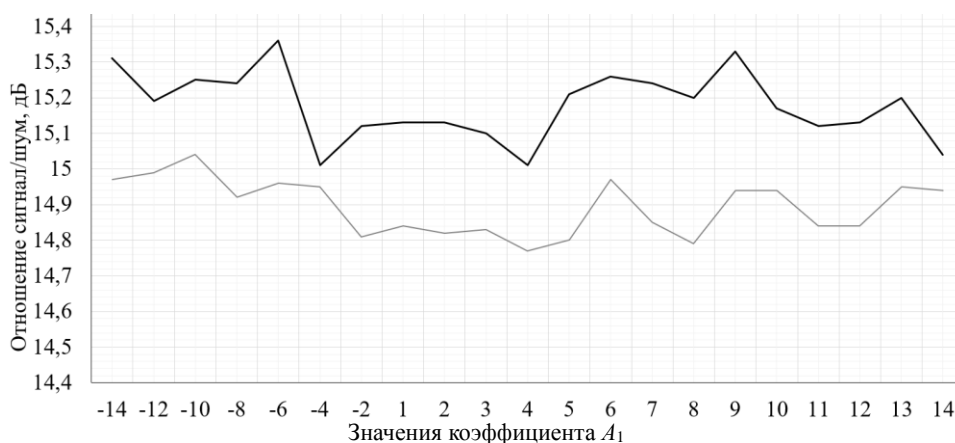


Рис. 6. График отношения сигнал/шум для изображения объекта № 1 с первой АЗВ:
— результат с обработкой ТРС-фильтром; — результат с обработкой СС-фильтром

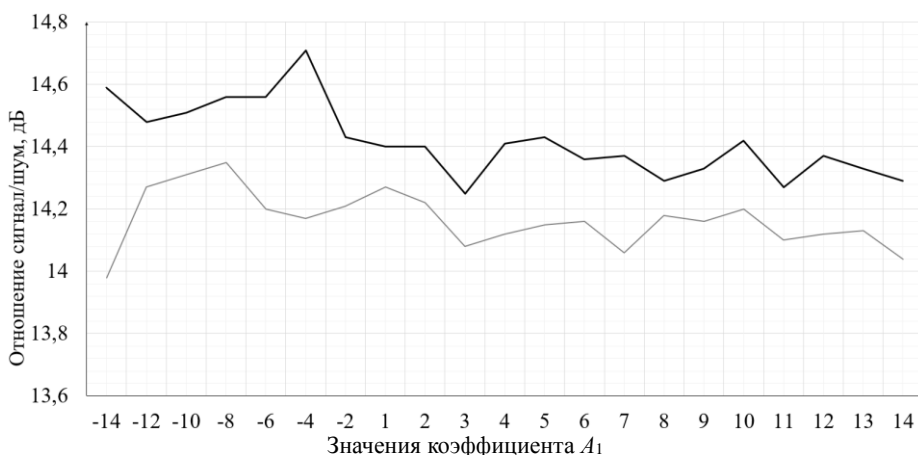


Рис. 7. График отношения сигнал/шум для изображения объекта № 1 с суммарной АЗВ:
— результат с обработкой ТРС-фильтром; — результат с обработкой СС-фильтром

Выбирая оптимальный коэффициент фильтрации для изображений тестовых объектов, учитывалось повышение точности определения расстояния до объектов интереса, а также изменение ОСШ.

При обработке фильтром СС объектов № 1 и № 2 оптимальный коэффициент фильтрации A_2 для первой и суммарной АЗВ равен 1. А для объекта № 3, расположенного на расстоянии около 35 м, для первой и суммарной АЗВ он равен 5.

Результаты применения ТРС-фильтра показывают отличный результат от СС-фильтра, для объекта № 1, расположенного на расстоянии в 11 м, оптимальный коэффициент равен 5 как для первой, так и суммарной АЗВ. Для объектов № 2 и № 3 для обеих зон АЗВ коэффициент A_2 показывал наилучший результат при значении, равном 1.

Поскольку исследуемые фильтры быстродействующие, необходимо оценить их быстродействие в сравнении с КДС для СС и ТРС. Оценка быстродействия проводилась на персональном компьютере с 64-разрядной операционной системой с процессором ADM A8-3850 APU with Radeon(tm) HD Graphics 2.90 GHz, с установленным оперативно запоминающим устройством 8 Гб.

Результаты измерения быстродействия фильтров ТРС и СС представлены в табл. 3.

Таблица 3
Результаты измерения быстродействия фильтров ТРС и СС

Коэффициент фильтрации	Время обработки, с.			
	Функция в MATLAB			
	СС	КДС СС	ТРС	КДС ТРС
1	8,51	10,08	7,44	10,15
2	7,93	11,16	7,69	9,81
3	7,62	9,90	7,74	9,86
4	8,38	10,06	7,45	9,95
5	8,42	10,21	7,61	9,92
6	8,14	10,07	8,63	9,83
7	9,38	9,96	8,59	9,94
8	7,40	10,32	8,17	9,80
9	8,12	9,96	8,19	9,85
10	9,27	10,02	7,85	10,35
11	7,85	10,07	8,16	9,96
12	8,28	9,96	8,30	9,88
13	8,75	9,98	8,28	9,87
14	8,17	10,05	8,70	9,94
-2	7,64	10,27	8,70	9,88
-4	7,58	9,98	8,91	9,97
-6	8,84	10,36	8,40	9,96
-8	7,50	10,04	8,40	10,03
-10	7,41	10,36	8,58	10,51
-12	8,69	10,34	8,67	10,08
-14	7,50	10,44	8,73	10,14
$\Sigma/21$	8,16	10,17	9,2	9,98

Анализ результатов

В рамках исследования ТРС-фильтра для объекта № 1 был показан наилучший результат при коэффициенте фильтрации равном 5, так как наблюдается рост ОСШ для первой АЗВ на 0,9, но изменение в ОСШ суммарной АЗВ почти не происходит.

Результат определения дальности оказался на 0,08 м точнее, чем при исследовании изображения без обработки. При использовании коэффициента фильтрации равного 1, для объектов № 2 и № 3 удалось достичь максимально приближенного результата к измерению лазерном дальномером. Результаты для объекта № 1 оказались на 0,72% (0,21 м) точнее, чем результат без обработки, а для объекта № 3 – на 0,29% (0,09 м). Для этих объектов результат оценки ОСШ для первой и суммарной АЗВ оказался на 1,5 и более единицы выше изначального, также наблюдается и рост ОСШ на 1 единицу.

В рамках исследования СС-фильтра для объектов № 1 и № 2 был показан наилучший результат при использовании коэффициента, равного 1. Расстояние до объекта № 1 определилось точнее на 0,91% (0,1 м), а до объекта № 2 – на 0,5% (0,19 м) точнее, при этом для обоих объектов наблюдается рост ОСШ на изображениях первой АЗВ. Однако СС-фильтр почти не оказывает влияние на значение ОСШ для первого объекта на суммарной АЗВ. При этом для объекта № 2 наблюдается рост ОСШ около 2 единиц. Для объекта № 3 лучший результат был показан при коэффициенте фильтрации, равном 5. В итоге разница между лазерным дальномером и результатом после обработки составила 0,09 м, что на 0,3% (0,1 м) точнее, чем результат, полученный с АИ ТИС без обработки. Для объекта № 3 наблюдается рост ОСШ для первой и суммарной АЗВ.

Анализируя результаты оценки быстродействия, можно сделать вывод, что среднее время работы СС-фильтра при РС-реализации на 24,6% меньше, чем при работе КДС. Фильтр ТРС при РС-реализации показывает время, на 8,58% меньше, чем работа КДС.

Заключение

Выполнено исследование применения рекурсивно-сепарабельных фильтров для обработки зашумленных изображений сформированных АИ ТИС, в рамках которого было установлено, что целесообразно проводить изменение алгоритма работы классических двумерных цифровых фильтров в рекурсивно-сепарабельную форму реализации. Подтверждением этого выступает продемонстрированный выигрыш в быстродействии относительно классической двумерной свертки как у фильтра СС, так и ТРС.

Подтверждена эффективность применения цифровых фильтров в РС-форме построения для повышения точности работы АИ ТИС за счет повышения точности определения расстояния до тестовых объектов. Но при использовании фильтра ТРС важно применять дополнительный коэффициент фильтрации A_1 , за счет которого происходит изменение суммы коэффициентов изначального фильтра. Изменение этой суммы важно, поскольку при начальных условиях сумма его коэффициентов равна нулю, что приводит к оконтуриванию исходного изображения. Однако нецелесообразно брать слишком большие значения коэффициента фильтрации, поскольку при увеличении значений апертуры филь-

тра, избавляясь от шумов, изображение становится более размытым, это приводит к тому, что некоторые контрольные точки становятся менее заметны и область, выбираемая для измерения, может немного отличаться.

При разработке алгоритмов повышения точности работы АИ ТИС также важен контроль отношения сигнал/шум. Его контроль важен для понимания того, как справляется разработанный алгоритм обработки со своей задачей по устранению шумов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10200 в ТУСУР.

Литература

1. Sun H.Y. Performance analysis of range-gated active imaging system / H.Y. Sun, H.C. Guo, Y.C. Li // International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009: Laser Sensing and Imaging // Proc. SPIE. – 2009. – Vol. 7382. 73822E. DOI: 10.1117/12.835576.
2. Amzajerdian F. Imaging flash lidar for autonomous safe landing and spacecraft proximity operation / F. Amzajerdian, V.E. Roback, A. Bulyshv, P.F. Brewster, G.D. Hines // AIAA SPACE. – 2016. – P. 5591. DOI: 10.2514/6.2016-5591.
3. Капустин В.В. Анализ параметров зоны обзора для активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем / В.В. Капустин, А.К. Мовчан, М.И. Курячий // SIBCON. – 2017. – С. 1–4. DOI: 10.1109/sibcon.2017.7998432.
4. Аналитический обзор развития лазерных систем локации / С.И. Артамонов, Н.А. Грязнов, В.В. Харламов, Н.А. Романов, Е.Н. Соснов // Индийский журнал науки и технологий. – Апрель 2017. – С. 1–10. DOI:10.17485/ijst/2017/v10i15/106332.5.
5. Грудин Б.Н. Обработка изображений: учеб. пособие: в 2-х ч. – Ч. 2. Цифровая обработка изображений / Б.Н. Грудин, В.С. Плотников, С.В. Полищук; Дальневосточный фед. ун-т. – Электрон. дан. – Владивосток: ИД ДФУ, 2013. – 115 с.
6. Зайцева Е.В. Цифровая обработка сигналов и изображений: учеб. пособие / Е.В. Зайцева, А.Г. Костевич, М.И. Курячий. – Томск: ТУСУР, 2018. – 220 с.
7. Kamensky A.V. High-speed recursive-separable image processing filters // Computer Optics. – 2022. – PP. 659–665. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1063.
8. Muker Kh. Analysis of applicability of MATLAB system for synthesis of controllable recursive digital IIR Butterworth filters / Kh. Muker, I.I. Turulin // Izvestiya YuFU. Technical Sciences. – 2021. – PP. 72–82. DOI: 10.18522/2311-3103-2021-3-72-82.
9. Боева В.А. Целесообразность применения локально-пространственных фильтров к зашумленным сигналам в задачах идентификации // Сб. науч. трудов НГТУ. – 2019. – С. 7–16. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16.
10. Sugimoto K. Fast Gaussian filter with second-order shift property of DCT-5 // K. Sugimoto, S. Kamata // Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP). – Sept. 2013. – PP. 514–518. DOI: 10.1109/ICIP.2013.6738106.
11. Иваненко К.А. Применение фильтра скользящего среднего для уменьшения погрешности измерения частоты для случая применения метода пересечения нуля / К.А. Иваненко, А.Н. Серов, Д.А. Чумаченко // SYNCHROINFO. – June 2021. – PP. 17–19. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488363.
12. Asma A.A. The Analytic of Image Processing Smoothing Spaces Using Wavelet / A.A. Asma, R. Moham-

med, S. Suha // Journal of Physics: Conference Series. – IHCPS, Baghdad, Iraq, 9–10 December 2020. – Vol. 1879. – PP. 1–15. DOI: 10.1088/1742-6596/1879/2/022118

13. Толмачева А.С. Разработка двумерно-сепарабельного двухкаскадного пирамидального фильтра повышения четкости изображений / А.С. Толмачева, А.В. Каменский // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – 2021. – № 1-2. – С. 206–208.

14. Методы и алгоритмы прецизионного измерения дальности активно-импульсными телевизионными измерительными системами / А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий, Е.С. Чалдина // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 7–14. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14.

15. Experimental Estimation of Accuracy of Distance Measurement Using Active-Pulse Television Measuring System and Digital Terrain Model / V.V. Kapustin, A.S. Zakhlebin, A.K. Movchan, M.I. Kuryachiy, M.V. Krutikov // Computer Optics. – 2022. – PP. 948–954. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1114.

16. Головина Д.Е. Измерение сигнальных и шумовых характеристик телевизионного изображения программными средствами / Д.Е. Головина, М.И. Курячий // Электронные средства и системы управления: матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – № 1-2. – С. 134–136.

Толмачева Александра Сергеевна

Магистрант каф. телевидения и управления (ТУ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0001-6862-095X
Тел.: +7-952-885-92-52
Эл. почта: 89131003680@mail.ru

Каменский Андрей Викторович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРА Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0001-6587-7776
Тел.: +7-952-893-78-35
Эл. почта: andru170@mail.ru

Тисленко Алексей Александрович

Магистрант каф. ТУ ТУСУРА Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0009-0009-8082-6753
Тел.: +7-952-894-07-51
Эл. почта: tisenko_1999-2012@mail.ru

Титов Дмитрий Витальевич

Д-р техн. наук., доцент, проф. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, Россия, 305040
ORCID: 0000-0001-5256-5968
Тел.: +7-905-042-51-31
Эл. почта: titov.swsu@gmail.com

Tolmacheva A.S., Kamenskiy A.V., Tislenko A.A., Titov D.V. **Application of high-speed recursively-separable filters for processing noisy images**

The paper provides a description of the algorithms developed for the implementation of high-speed filters, using the example of a moving average filter and a trapezoidal

recursively separable filter. The speed evaluation results of the developed algorithms with an aperture dimension of 7×7 elements are presented in comparison with the classical two-dimensional convolution. The influence of image processing formed by active-pulse television-measuring systems on the distance accuracy to objects of interest is estimated. As part of the study, the central element of the masks of the developed filters was changed in the range from -14 to 14, in parallel with this, the signal-to-noise ratio for the processed images was controlled.

Keywords: image processing, range measurement, trapezoidal recursive-separable filter, moving average filter, smoothing filters, signal-to-noise ratio, fast algorithms.

DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-56-62

References

1. Sun H.Y., Guo H.C., Li Y.C.. Performance analysis of range-gated active imaging system. *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009: Laser Sensing and Imaging*, 2009: Laser Sensing and Imaging. *Proc. SPIE*, 2009, vol. 7382. 73822E. DOI: 10.1117/12.835576.
2. Amzajerdian F., Robak V.E., Bulyshev A., Brewster P.F., Hines G.D. Visualizing lidar for autonomous safe landing and approach of spacecraft. *AIAA SPACE*, 2016, p. 5591. DOI: 10.2514/6.2016-5591.
3. Kapustin V.V., Movchan A.K., Kuryachiy M.I. Analysis of viewing area parameters for active-pulse telecomputer systems. *SIBCON*, 2017, pp. 1–4. DOI: 10.1109/sibcon.2017.7998432.
4. Artamonov S.I., Gryaznov N.A., Kharlamov V.V., Romanov N.A., Sosnov E.N. Analytical review of the development of laser location systems. *Indian Journal of Science and Technology*, April 2017, pp. 1–10. DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i15/106332.5.
5. Grudin B.N., Plotnikov V.S., Polishchuk S.V., [Image processing: textbook. Allowance: in 2 parts. Part 2: Digital Image Processing]. *Far Eastern Federal University. Electron. Dan. Vladivostok: Dalnevost Publishing House. federal. university*, 2013. 115 p.
6. Zaitseva E.V., Kostevich A.G., Kuryachiy M.I., [Digital signal and image processing: textbook]. *Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2018. 220 p. (in Russ.).
7. Kamensky A.V. High-speed recursive-separable image processing filters. *Computer Optics*, 2022, pp. 659–665. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1063.
8. Muker Kh., Turulin I.I. Analysis of applicability of MATLAB system for the synthesis of controlled recursive digital IIR Butterworth filters. *Izvestiya SFU. Technical Sciences*, 2021, pp. 72–82. DOI: 10.18522/2311-3103-2021-3-72-82.
9. Boeva V.A. Feasibility of applying local-spatial filters to noisy signals in identification tasks. *Collection of Scientific Works of NSTU*, 2019, pp. 7–16. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16.
10. Sugimoto K., Kamata S. Fast Gaussian filter with second-order shift property of DCT-5. *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP)*, Sept. 2013, pp. 514–518. DOI: 10.1109/ICIP.2013.6738106.
11. Ivanenko K.A., Serov A.N., Chumachenko D.A. Application of moving average filter to reduce the frequency measurement error for the case of zero crossing method. *CINXROINFO*. – June 2021. – pp. 17–19. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488363.
12. Asma A.A., Mohammed R., Suha S. Analytica of image processing smoothing spaces using wavelets. *Journal of physics: conference series*, vol. 1879. IHCPS, Baghdad (Iraq). December 9-10, 2020, pp. 1–15. DOI: 10.1088/1742-6596/1879/2/022118
13. Tolmacheva A.S., Kamensky A.V. Development of two-dimensional separating two-stage pyramidal filter for image sharpening. *Electronic means and control systems. Reports of the International scientific-practical conference*. 2021, no. 1-2. pp. 206–208.
14. Movchan A.K., Kapustin V.V., Kuryachiy M.I., Chaldina E.S. *Metody i algoritmy precizionnogo izmereniya dal'nosti aktivno-impul'snymi televizionnymi izmeritel'nymi sistemami* [Methods and algorithms for precision range measurement by active-pulse television measuring systems], *Proceedings of TUSUR University*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 7–14. DOI: 10.21293/1818-0442-2020-23-2-7-14 (in Russ.).
15. Kapustin V., Zakhlebin A., Movchan A., Kuryachiy M., Krutikov M. Experimental Estimation of Accuracy of Distance Measurement Using Active-Pulse Television Measuring System and Digital Terrain Model, *Computer Optics*, 2022, pp. 948–954. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1114.
16. Golovina D.E. Measurement of signal and noise characteristics of TV image by software tools. *Electronic means and control systems. Proceedings of the International Scientific-Practical Conference*, 2016, no. 1–2, pp. 134–136.

Aleksandra S. Tolmacheva

Master student, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0000-0001-6862-095X
Phone: +7-952-885-92-52
E-mail: 89131003680@mail.ru

Andrey V. Kamensky

Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor, Department of Television and Control, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0000-0001-6587-7776
Phone: +7-952-893-78-35
E-mail: andru170@mail.ru

Aleksey A. Tislenko

Master student, Department of Television and Control, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: 0009-0009-8082-6753
Phone: +7-952-894-07-51
E-mail: tislenko_1999-2012@mail.ru

Dmitry V. Titov

Doctor of Science in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department.
Computer Southwest State University
50 years of October st., 94, Kursk, Russia, 305040
ORCID: 0000-0001-5256-5968
Phone: +7-905-042-51-31
E-mail: titov.swsu@gmail.com