

ФИЛЬТРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ТОМОГРАММ МЕТОДОМ АДАПТАЦИИ РАЗМЕРА ОКНА ФИЛЬТРА К ЛОКАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Е.Н. Симонов, В.В. Ласьков

Предложен алгоритм фильтрации изображений медицинской рентгеновской компьютерной томографии с адаптацией размеров апертуры и метода фильтрации к локальным характеристикам изображения. Алгоритм реализован в виде программного обеспечения и апробирован на проекционных данных томографических изображений. Приведено описание алгоритма и формул, лежащих в его основе. Оценена погрешность, даваемая алгоритмом, приведено сравнение с существующими методами фильтрации.

Ключевые слова: алгоритм фильтрации; тестовое изображение; погрешность алгоритма.

Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры были представлены в статьях Воскобойникова, Белявцева и Бронникова [1, 2]. Известно, что степень сглаживания сигналов зависит от размеров апертуры фильтра. При малом размере апертуры фильтра обработке подвергается меньшее число значений, что обеспечивает лучшее сохранение контрастных деталей сигнала, но при этом шум будет сглажен хуже. При большом размере апертуры фильтра сглаживание шума будет происходить лучше, однако при этом возможна «потеря» некоторых контрастных дета-

лей, присутствующих в исходном сигнале. Таким образом, введение алгоритмов адаптации размеров апертуры позволяет улучшить качественные характеристики данного локального фильтра.

В настоящей статье предложен алгоритм фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры к локальным характеристикам этих изображений.

Описание алгоритма

Основой адаптивного алгоритма является выбор оптимальных параметров фильтрации: определение размера апертуры фильтра по локальным статистикам (локальное среднее, локальная дисперсия, дисперсия шума) и типа фильтра (медианный, скользящего среднего или комбинированный) в зависимости от локальных статистик изображения.

Входные параметры фильтра:

- минимальный и максимальный горизонтальный размер апертуры;
- минимальный и максимальный вертикальный размер апертуры;
- значения параметров k и ε , определяющих чувствительность алгоритма к адаптации. Описание выбора параметров приведено ниже.

Шаги алгоритма описаны ниже.

1. Задаются ограничения на минимальный и максимальный размеры апертуры; задаются параметры k и ε .
2. Первоначальный размер апертуры устанавливается минимальным.
3. Флаг выбора размеров апертуры устанавливается в 0.
4. Флаги изменения размеров апертуры устанавливаются в 1.
5. Пока флаг выбора размеров апертуры не равен 1, выполняется подбор размеров апертуры.
6. При выбранном размере апертуры для выбранной точки рассчитывается медиана.
7. Оценивается дисперсия шума.
8. Рассчитываются средние значения яркости по строкам и столбцам изображения.
9. Рассчитываются среднеквадратические отклонения по строкам и столбцам изображения.
10. Производится проверка условия превышения среднеквадратическими отклонениями заданного уровня шума.
11. В случае истинности условия для строки или столбца соответствующий размер апертуры уменьшается, устанавливаются флаги изменения размеров апертуры.
12. В случае ложности условия соответствующий размер апертуры увеличивается, устанавливаются флаги изменения размеров апертуры.
13. Производится проверка выхода установленных размеров апертуры за пределы минимальных и максимальных размеров.

14. В случае достижения одним из размеров фильтра предельного значения расчёт размеров апертуры заканчивается, флаг выбора размера устанавливается в единицу.

15. Осуществляется проверка критерия останова: если знак приращения размеров апертуры меняется на противоположный, то флаг выбора устанавливается 1, иначе флаг выбора остаётся равным 0.

16. Если флаг выбора равен 0, осуществляется переход к шагу 5.

17. Для выбранного размера апертуры рассчитывается медиана.

18. Для выбранного размера апертуры рассчитывается дисперсия шума.

19. Для выбранного размера апертуры рассчитывается среднее значение.

20. Для выбранного размера апертуры рассчитывается локальная дисперсия.

21. Оценивается и корректируется величина μ .

22. По рассчитанной величине μ определяется тип фильтра.

23. При рекурсивной реализации алгоритма значению $x^{in}(k,l)$ текущей точки присваивается рассчитанное значение $f_{вых}$.

Оценка параметров

Параметр k

На шаге 10 проводится проверка неравенств:

$$\begin{aligned}v_r^2(k,l) &\geq k\sigma_M^2, \\v_c^2(k,l) &\geq k\sigma_M^2\end{aligned}$$

где $v_r^2(k,l)$ и $v_c^2(k,l)$ – среднеквадратическое отклонение по строкам и столбцам, $k\sigma_M^2$ – оценка шума.

В случае истинности условия для строки или столбца соответствующий размер апертуры уменьшается, в обратном случае – увеличивается.

Соответственно, возможные варианты выбора параметра k :

– $k < 1$, если требуется удерживать размеры апертуры, близкие к минимальным;

– $k = 1$, если требуется расчёт по действительной величине шума;

– $k > 1$, если требуется удерживать размеры апертуры, близкие к максимальным.

Параметр E

На шаге 21 оценивается величина μ :

$$\mu = 1 - \frac{XD}{DISP},$$

где XD – дисперсия шума; DISP – локальная дисперсия. Величина μ может принимать следующие значения:

– $\mu = 1$, если локальная дисперсия значительно превосходит дисперсию шума (происходит резкое изменение изображения);

– $0 < \mu < 1$, если размеры локальной дисперсии и дисперсии шума сопоставимы;

– $\mu = 0$, если дисперсия шума превосходит локальную дисперсию (отклонения обусловлены шумом).

По значениям μ и ε определяется тип фильтра:

$$f_{\text{вых}} = \begin{cases} f^M, & \text{если } 1 - \varepsilon < \mu \leq 1, \\ \mu f^M + (1 - \mu) f^{CP}, & \text{если } \varepsilon \leq \mu \leq 1 - \varepsilon, \\ f^{CP}, & \text{если } 0 \leq \mu < \varepsilon \end{cases}$$

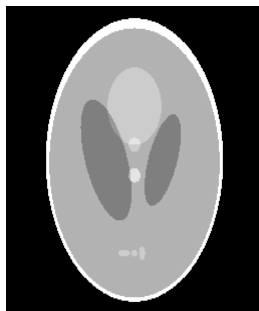
соответственно, имеют смысл значения $\varepsilon \in (0, 0,5)$. Чем большее значение имеет ε , тем шире полосы медианного фильтра и фильтра скользящего среднего. При малых значениях ε расширяется полоса комбинированного фильтра: при $\varepsilon = 0,05$ полоса составит $(0,05; 0,95)$.

Результаты вычислительных экспериментов

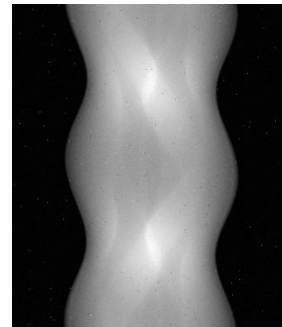
Описание тестового изображения

В качестве тестового изображения использовалось изображение, восстановленное с помощью реконструктора [3, 4] по проекционным данным фантома Шеппа-Логана. Для ухудшения качества изображения на проекционные данные был наложен гауссовый белый шум. Единичные канальные ошибки были смоделированы наложением импульсного шума.

Проекционные данные представлены на рисунке 1.



1)



2)

Рис. 1. Фантом Шеппа-Логана: 1) исходное изображение;
2) зашумлённые проекционные данные

Результаты фильтрации

Полученное изображение было обработано предлагаемым фильтром, а также медианным фильтром и фильтром скользящего среднего в один и два прохода. Результаты фильтрации представлены в таблице 1.

Оценка среднеквадратической ошибки фильтрации производилась по формуле:

$$\Delta_1 = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\bar{f}_{i,j} - f_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f_{i,j}^2},$$

где $\bar{f}_{i,j}$ – значение отфильтрованной точки изображения, $f_{i,j}$ – значение исходной точки изображения без искажений и шума.

Оценка относительной ошибки фильтрации производилась по формуле:

$$\Delta_2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\bar{f}_{i,j} - f_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f_{i,j}^2} \right]^{1/2} 100\%$$

где $\bar{f}_{i,j}$ – значение отфильтрованной точки изображения, $f_{i,j}$ – значение исходной точки изображения без искажений и шума.

Полученные проекционные данные были восстановлены. Рассчитанные ошибки фильтрации представлены в табл. 2, восстановленные изображения представлены на рис. 2.

По результатам фильтрации можно сделать вывод, что предлагаемый алгоритм даёт ошибку фильтрации меньшую, чем фильтр скользящего среднего, и сравнимую с ошибкой медианного фильтра. Наименьшая ошибка фильтрации достигается при значениях параметров $k > 1, e = 0,15$.

Таблица 1

Параметры фильтрации

№ п/п	Параметры	$\Delta_1, 10^{-4}$	$\Delta_2, \%$
1	k=0,95, e=0,05	3,20	1,79
2	k=1,00, e=0,15	3,16	1,78
3	k=1,05, e=0,15	3,15	1,77
4	k=1,05, e=0,25	3,16	1,78
5	k=1,05, e=0,15 (рекурсивно, 1 проход)	2,89	1,70
6	k=1,05, e=0,15 (рекурсивно, 2 проход)	2,65	1,63
7	ФСС, апертура 3*3, 1 проход	8,61	2,93
8	ФСС, апертура 3*3, 2 проход	9,91	3,15
9	ФСС, апертура 5*5, 1 проход	9,56	3,09
10	ФСС, апертура 5*5, 2 проход	15,00	3,87
11	МФ, апертура 3*3, 1 проход	3,55	1,89
12	МФ, апертура 3*3, 2 проход	2,30	1,52
13	МФ, апертура 5*5, 1 проход	1,77	1,33
14	МФ, апертура 5*5, 2 проход	1,32	1,15

Таблица 2

Ошибки фильтрации

№ п/п	Параметры	Δ_1	$\Delta_2, \%$
1	Изображение, восстановленное с зашумлёнными проекционными данными	0,2503	50,0 %
2	ФСС, апертура 5*5, 1 проход	0,0306	17,5 %
3	МФ, апертура 5*5, 1 проход	0,0295	17,2 %
4	Комб, $k=1,05, e=0,15$	0,0500	22,4 %
5	Комб, $k=1,05, e=0,15$, рекурсивно, 2 прохода	0,0324	18,0 %

Также можно сделать вывод, что при сравнимом объёме ошибок границы высококонтрастных объектов остаются более резкими, в монотонных областях содержится меньше «зернистости», что является критичным в томографии.

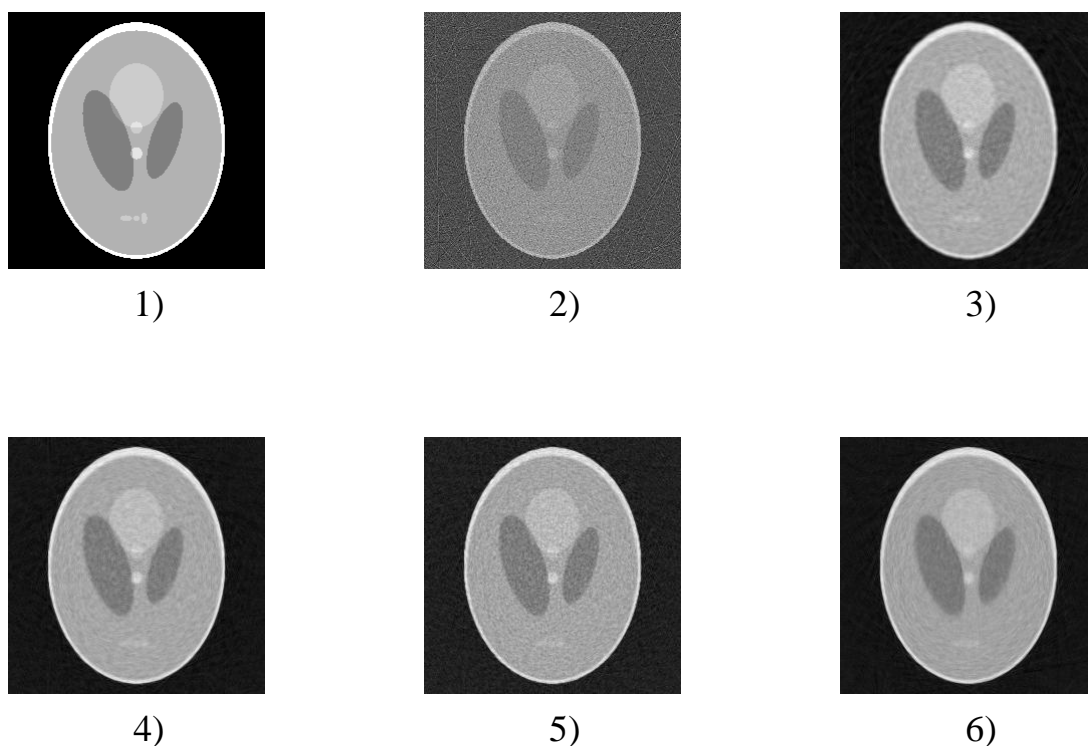


Рис. 2. Восстановленные изображения (1 проход): 1) исходное изображение; 2) изображение, восстановленное с зашумлёнными проекционными данными; 3) фильтр скользящего среднего, апертура 5*5; 4) медианный фильтр, апертура 5*5; 5) предлагаемый комбинированный фильтр, $k = 1,05, e = 0,15$; 6) предлагаемый комбинированный рекурсивный фильтр, $k = 1,05, e = 0,15$

Заключение

В результате исследований были решены следующие задачи:

- проанализированы существующие адаптивные алгоритмы в области обработки изображений;
- предъявлены требования к создаваемому алгоритму;
- создан и протестирован алгоритм фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры и метода фильтрации к локальным характеристикам изображения;
- оценены погрешности, даваемые алгоритмом, в сравнении с существующими методами фильтрации.

Предложенный алгоритм можно использовать для фильтрации проекционных данных в рентгеновской компьютерной томографии.

Библиографический список

1. Воскобойников, Ю.Е. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / Ю.Е. Воскобойников, В.Г. Белявцев // Автометрия. – 1998. – № 3.
2. Воскобойников, Ю.Е. Комбинированные алгоритмы нелинейной фильтрации зашумленных сигналов и изображений / Ю.Е. Воскобойников, А.В. Бронников // Автометрия. – 1990. – № 1.
3. Симонов, Е.Н. Физико-математические основы проектирования томографических рентгеновских компьютерных комплексов: монография / Е.Н. Симонов. – М.: Российская Академия Естественных наук, 2011. – 410 с.
4. Симонов, Е.Н. Томографические измерительные информационные системы. Рентгеновская компьютерная томография: монография / Е.Н. Симонов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 440 с.

[К содержанию](#)