

УДК 651.326

**Н.Н. БОНДИНА**, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**А.С. КАЛМЫЧКОВ**, студент, НТУ "ХПИ",  
**О.А. КОЗИНА**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ОЦЕНКАМ ИХ КАЧЕСТВА**

Рассмотрены алгоритмы фильтрации медицинских изображений для устранения аддитивного, импульсного и комбинированного шумов. На основе полученных количественных оценок качества изображений, визуальной оценки, а также профилей изображений проведено сравнение алгоритмов фильтрации. Представлены таблицы пиковых отношений сигнал/шум и времени работы программ для определения лучшего алгоритма. Получены рекомендации по выбору фильтров с учётом эффективности и времени их работы. Ил.: 3. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** алгоритмы фильтрации медицинских изображений, сравнение алгоритмов фильтрации, пиковое отношение сигнал/шум.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Существует большое количество алгоритмов фильтрации изображений [1 – 3]. Эффективность работы этих алгоритмов зависит как от самого алгоритма, так и от изображения. Для медицинских изображений, получаемых на разных устройствах с помощью различных физических явлений, необходимо правильно подобрать алгоритмы обработки изображения. Сравнение алгоритмов фильтрации с целью выбора лучшего является актуальной проблемой [4, 5]. Нами поставлена задача – разработать систему, позволяющую выбрать подходящий алгоритм фильтрации по объективным критериям качества фильтрации [6], по визуальной оценке и по выведенным профилям изображений.

Необходимо сравнить результаты восстановления изображений, искажённых различными шумами, при воздействии линейными, медианными и разработанными на их основе другими фильтрами. К ним относятся следующие фильтры. Линейные и медианные разделимые – это такие фильтры, в которых фильтрация сначала выполняется по строкам, а затем по столбцам. Привлекательность этих фильтров – в быстрой работе. Взвешенный медианный фильтр [2, 7] при формировании массива значений перед сортировкой повторяет элемент количество раз, соответствующее его весу. Алгоритм ранжирующего фильтра [7] не включает в массив значений для сортировки центральный элемент и после сортировки медиана вычисляется как среднее

---

© Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, О.А. Козина, 2013

арифметическое двух центральных элементов. Центральный элемент апертуры – кандидат на замену – детектируется на импульс, замена на медиану происходит только для импульса. Для такой проверки предлагается ввести массив, определяющий пороги для принятия решения об импульсе,

В алгоритме билатерального фильтра [7] заложена интересная идея: гасить всё, что по расстоянию или по яркости заметно отличается от центрального элемента. Достигается это с помощью весов, рассчитанных как по расстоянию, так и по яркости.

Гибридный – это фильтр, в котором есть подфильтры, например, для апертуры  $9 \times 9$  можно выделить 9 подфильтров с апертурами  $3 \times 3$ . Действие в подфильтрах и всём фильтре представляет собой комбинацию линейных и медианных фильтров.

**Цель статьи** – сравнение известных алгоритмов фильтрации изображений по удалению аддитивного гауссова, импульсного и комбинированного шумов на основе полученных количественных оценок качества изображений для выбора методов фильтрации.

Разработана система на языке C# для решения этой задачи. Проведенные эксперименты показывают, что линейной и медианной фильтрации в большинстве случаев вполне достаточно, чтобы устранить шум в изображении. Размеры апертуры также влияют на качество фильтрации. Чем больше апертура, тем эффективнее усреднение для устранения шума, но вместе с тем усредняются и детали самого изображения, т.е. происходит размытие, или расфокусировка изображения. В меньшей степени этот недостаток присущ медианному фильтру, но, всё же, искажение границ имеет место и здесь, в частности, иногда происходит утолщение границ. Однако в некоторых случаях размытие изображения используется в положительном смысле, например, для удаления мелких деталей. В фильтрах, повышающих чёткость изображения, сначала используют размытие изображения, а потом к полученному изображению прибавляют разность между исходным и размытым изображениями [8]. Результат такого преобразования показан на рис. 1, а, б. Алгоритм повышения чёткости изображения выделил границы на нём. Известно [1], что алгоритм медианной фильтрации настроен на удаление экстремальных значений, попадающих в апертуру фильтра, именно поэтому медианные фильтры рекомендуются для устранения импульсного шума. На рис 1, в, г видно, что медианный фильтр хорошо справляется и с комбинированным шумом, детали изображения при этом несколько размыты.

**Сравнение алгоритмов линейной, медианной и гибридной фильтрации.** В табл. 1 приведены значения пикового отношения сигнал/шум для изображений, зашумленных аддитивным гауссовым шумом с математическим ожиданием  $m = 0$ ; и дисперсией  $\sigma^2$  ( $1 - \sigma^2 = 0,2$ ;  $2 - \sigma^2 = 0,5$ ) и импульсным шумом с плотностью  $p$  ( $1 - p = 0,2$ ;  $2 - p = 0,3$ ).

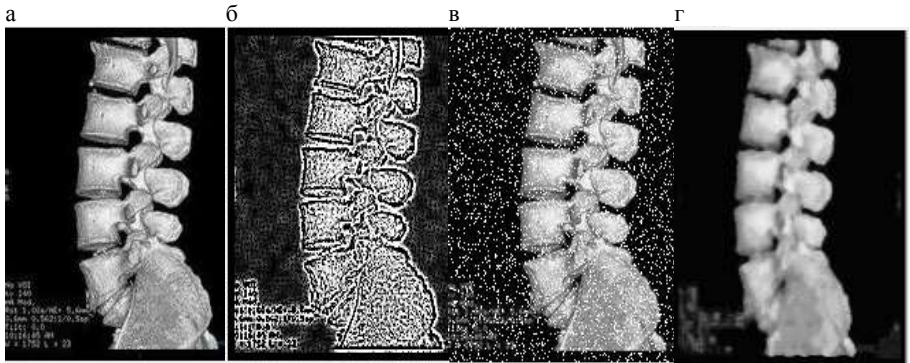


Рис. 1. Результат обработки изображений: а – исходное изображение, б – изображение после повышения чёткости, в – изображение, зашумлённое комбинированным шумом  $\sigma^2 = 0,2$ ,  $p = 0,2$ , г – результат обработки медианным фильтром

Итерации, или повторное применение фильтров особенно эффективно работают в случае медианных или других методов, созданных на их основе. Время фильтрации для всех фильтров указано относительно медианного фильтра ( $5 \times 5$ ).

Расчёты оценок сигнал/шум были выполнены для классических линейных и медианных фильтров. Биномиальные фильтры [2] – это фильтры, у которых коэффициенты уменьшаются по мере удаления от центра и тем самым уменьшают вклад этих элементов, что влечёт за собой меньшее размытие изображения. Значения массива порогов в ранжирующем фильтре определены в ходе экспериментов над конкретными изображениями [7] и подойдут ли они нам, вопрос открытый. Во избежание проблем с массивом порогов, мы сравниваем центральный элемент с медианой и, если он незначительно отличается от медианы, то принимаем решение, что это не импульс. При этом меру незначительности можно задавать. Если центральный элемент – не импульс, то его не меняют, в противном случае на место центрального элемента записывается медиана.

В табл. 2 приведены оценки сигнал/шум для комбинированного шума I –  $\sigma^2 = 0,2$ ;  $p = 0,2$ ; II –  $\sigma^2 = 0,3$ ;  $p = 0,3$ . В столбцах 1 приведено

значение пикового отношения сигнал/шум, в столбцах 2 приведено число итераций, за которое происходит фильтрация с хорошей визуальной оценкой. Здесь добавлены гибридные фильтры 3×3. Гибридный 1: подфильтры обрабатываются как медианные фильтры, затем происходит усреднение по выходам подфильтров. Гибридный 2: в подфильтрах работает усреднение, затем медианный фильтр – по выходам подфильтров.

Таблица 1  
Отношение сигнал/шум по результатам фильтрации для разных алгоритмов

Вид фильтра \ Шум	Аддитивный шум		Импульсный шум		Время
	1	2	1	2	
Зашумлённое изображение	36,93	24,98	17,83	21,39	-
Линейный 5×5	38,11	28,79	23,28	23,32	0,25
Медианный 5×5	32,93	30,33	29,52	33,00	1
Биномиальный 5×5	39,59	28,76	22,09	22,81	0,24
Линейный разделимый	39,19	27,73	21,37	21,40	0,1
Взвешенный медианный	31,95	29,10	28,04	31,45	1,62
Ранжирующий	36,48	27,53	28,34	33,64	1
Билатеральный	37,47	27,61	21,42	27,43	0,42
Медианный разделимый	33,47	23,62	16,30	21,34	0,38

Таблица 2  
Отношение сигнал/шум по результатам обработки изображений

Вид фильтра \ Шум	Комбинированный шум				Время одной итерации
	I		II		
	1	2	1	2	
Зашумлённое изображение	21,80	-	18,79	-	
Линейный 5×5	30,05	1	25,07	1	0,25
Медианный 5×5	32,81	1	32,32	1	1
Биномиальный 5×5	29,52	1	24,71	1	0,24
Линейный разделимый	26,54	1	22,73	1	0,1
Взвешенный медианный	31,37	1	30,24	1	1,62
Ранжирующий	35,45	1	32,01	3	1
Билатеральный	28,64	1	25,63	2	0,42
Медианный разделимый	22,81	1	17,74	1	0,38
Гибридный 1	34,64	1	31,58	1	1,21
Гибридный 2	28,32	1	24,14	1	0,47

В случае гауссова аддитивного шума небольших значений лучшие результаты показали биномиальный и линейный разделимый фильтры

(примерно 3 дБ), далее линейный фильтр (1,5 дБ). При больших значениях шума лучшие – медианный и взвешенный медианный фильтры (примерно 6 дБ), линейные и биномиальные фильтры (примерно 4 дБ) и почти на 3 дБ снижают уровень шума ранжирующий и билатеральный фильтры. Для импульсного шума хорошие результаты показали медианный, ранжирующий и взвешенно-медианный фильтры (11 – 12 дБ). Комбинированный шум лучше всего удаляется ранжирующим и гибридным фильтрами с медианными подфильтрами (13 – 14 дБ), несколько хуже медианный и взвешенно-медианный (10 – 11 дБ). Подтверждается известный факт, что чем выше уровень шума, тем больший процент его удаляется при фильтрации.

На рис. 2 приведены результаты фильтрации ранжирующим и медианным фильтрами в случае комбинированного шума  $\sigma^2 = 0,2$ ,  $p = 0,2$ . Следует отметить, что ранжирующий фильтр (рис. 2, в) лучше сохранил мелкие детали, чем медианный (рис. 2, г).

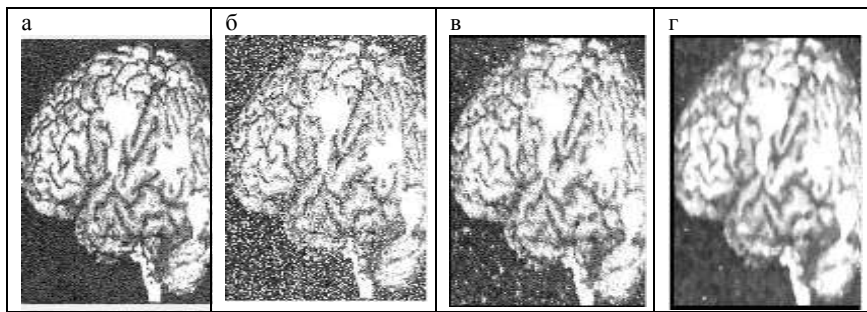


Рис. 2. Результат обработки изображений: а – исходное изображение; б – искажённое изображение; в – изображение, восстановленное ранжирующим фильтром; г – изображение, восстановленное медианным фильтром

По времени работы фильтров лучшим является линейный и разработанные на его основе фильтры, хуже всего взвешенно-медианный.

На рис. 3 показаны результаты работы медианного и гибридного фильтров с медианными подфильтрами. Для небольшого уровня шума оба фильтра дают хорошие результаты, однако у медианного фильтра показатели лучше, отношение сигнал/шум увеличивается на 10 дБ, у гибридного – на 7 дБ.

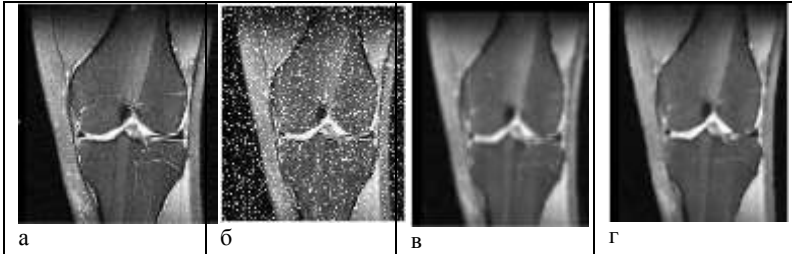


Рис. 3. Результат обработки изображений: а – исходное изображение; б – искажённое изображение, комбинированный шум,  $\sigma^2 = 0,1$ ,  $p = 0,1$ ; в – изображение, восстановленное гибридным фильтром с медианными подфильтрами; г – изображение, восстановленное медианным фильтром

### Выводы.

1. Из анализа показателей отношения сигнал/шум для разных методов фильтрации следует, что аддитивный гауссов шум лучше всего устраняется биномиальными, затем линейными фильтрами. Удаление импульсного шума лучше всего выполнять с помощью медианного, ранжирующего фильтра, а для комбинированного шума лучше всего подходят ранжирующий, гибридный с медианными подфильтрами, а также медианный фильтр.

2. По быстродействию лучшими являются линейные фильтры и основанные на них, затем медианные фильтры и основанные на них. Ранжирующий фильтр в том варианте, как описан здесь, имеет такое же быстродействие, как и медианный, гибридные несколько уступают медианным.

3. Приведенные данные подтверждают, что часто достаточно линейных и медианных фильтров [8], а также, что конкретные задачи требуют умелого комбинирования разных методов.

**Список литературы:** 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 2. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 3. Бондина Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Э. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – 2012. – № 38. – С. 14–25. 4. Воскобойников Ю.Е. Сравнительный анализ двух классов алгоритмов фильтрации изображений / Ю.Е. Воскобойников, А.В. Гочаков // Автометрия. – 2011. – № 1. – С. 17-29. 5. Галалу В.Г. Оценка эффективности цифровой фильтрации периодических и импульсных помех на основе локальных статистик / В.Г. Галалу, В.В. Сарычев, М.М. Клопот // Автометрия. – 2009. – № 4. – С. 111-116. 6. Журавель И.М. Краткий курс теории цифровой обработки изображений / И.М. Журавель // matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2 7. Бухтояров С.С. Удаление шума из изображений нелинейными цифровыми фильтрами на основе ранговой статистики: автореф. дис. канд. техн.: 05.12.04 / Бухтояров Сергей Сергеевич. – М., 2007. – 20 с. 8. Поляков А.Ю. Методы и алгоритмы

компьютерной графики в примерах на Visual C++ / А.Ю. Поляков, В.А. Брусенцов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.

*Поступила в редакцию 20.03.2013*

*Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.*

УДК 651.326

**Порівняння алгоритмів фільтрації медичних зображень за оцінками їх якості / Бондіна Н.М., Калмичков О.С., Козіна О.А.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 15 – 21.

Розглянуто алгоритми фільтрації медичних зображень для усунення адитивного, імпульсного і комбінованого шумів. На основі одержаних кількісних оцінок якості зображень, візуальної оцінки, а також профілів зображень проведено порівняння алгоритмів фільтрації. Представлено таблиці пікових відносин сигнал/шум і часу роботи алгоритмів для визначення кращого алгоритму. Приведено рекомендації по вибору фільтрів з урахуванням ефективності і часу їх роботи. Іл.: 3. Табл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** алгоритми фільтрації медичних зображень, порівняння алгоритмів фільтрації, пікове відношення сигнал/шум.

UDC 651.326

**Comparison of filtering algorithms of medical images on their quality indexes / Bondina N.N., Kalmychkov A.S., Kozina O.A.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 15 – 21.

Algorithms filtering of medical images to eliminate additive, pulse and combined noise were considered. Algorithms of filtering were compared based on received quantitative estimates of image quality, visual evaluation and image's profiles. Tables of peak signal/noise ratio and the time of algorithms executing were represented. The recommendations for the selection of filters based on effectiveness and timing of their work were proposed. Figs.: 3. Tabl.: 2. Refs.: 8 titles.

**Keywords:** algorithms of filtration medical images, comparison of algorithms of filtration, peak signal/noise ratio.