

УДК 651.326

Н.Н. БОНДИНА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
Р.Ю. МУРАРОВ, студент, НТУ "ХПИ"

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ КОНТРАСТА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрена адаптивная фильтрация на основе линейных и медианных алгоритмов, изменения размеров апертуры и выбора различных шаблонов апертуры. Приведены примеры видоизменения гистограммы на базе адаптивных алгоритмов. Вычислены объективные оценки для сравнения алгоритмов фильтрации адаптивными фильтрами. Ил.: 3. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы фильтрации, видоизменения гистограммы изображения, сравнение алгоритмов фильтрации.

Постановка проблемы. Адаптивные алгоритмы широко применяются в различных задачах обработки изображений наряду с классическими линейными и медианными методами. Представляет интерес проследить влияние различных алгоритмов адаптации на качество получаемых изображений, сравнить эти методы и сформулировать рекомендации по их использованию. При этом адаптацию можно применять как для фильтрации изображений, так и для изменения их контраста.

Анализ литературы. Адаптивные алгоритмы описаны в классическом труде по обработке изображений Р. Гонсалеса и Р. Вудсона [1]. Идея адаптации алгоритмов изложена так: "Важным аспектом обработки изображений при использовании значений локальных среднего и дисперсии является гибкость, которая позволяет использовать простые, но мощные методы улучшения, основанные на статистических измерениях, имеющих близкое и предсказуемое соответствие виду самого изображения". Такой подход к адаптации алгоритмов обработки изображений является актуальным и в настоящее время [2, 3].

При адаптации алгоритмов наиболее подходящими статистическими параметрами для характеристики изображения являются среднее значение и дисперсия, отвечающие небольшим участкам изображения. Именно они определяют внешний вид изображения. Среднее значение даёт меру средней яркости, а дисперсия – меру среднего отклонения яркости или контраста. Для фрагмента изображения S_{xy} , представляющего собой матрицу размером $m \times n$, эти статистические характеристики рассчитываются по формулам [1, 4]:

$$\mu = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t),$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} (g(s,t) - \mu)^2,$$

где μ – среднее значение уровня яркости фрагмента S_{xy} ; $g(s, t)$ – текущий уровень яркости во фрагменте; σ^2 – дисперсия фрагмента.

Адаптацию алгоритма к локальным характеристикам изображения можно также выполнить посредством выбора размера апертуры или шаблона для фильтрации [5, 6]. Ещё одна характеристика изображения – её гистограмма, связана с контрастом, от которого также зависит качество изображения. Значения яркостей можно рассматривать как случайные величины, характеризующиеся функцией плотности распределения вероятностей, а гистограмма даёт представление об этой функции.

Цель статьи – сравнение алгоритмов адаптивной фильтрации по их эффективности, сложности и быстродействию для использования в обработке изображений, применение методов видоизменения гистограмм для изменения контраста. Все эти методы объединяет использование различных статистических параметров изображения для его целенаправленной обработки.

Сравнение алгоритмов адаптивной фильтрации. Линейные и медианные фильтры удобно использовать для фильтрации аддитивного гауссова и импульсного шума соответственно. Их применение не учитывает того факта, что параметры изображения изменяются от точки к точке. Адаптивные фильтры лишены этого недостатка: их свойства изменяются в соответствии с изменяющимися характеристиками изображения. Возможности адаптивных фильтров могут превосходить возможности линейных и медианных фильтров, на основе которых они созданы. Это зависит как от самого изображения, так и его зашумлённости. При этом увеличивается сложность алгоритмов и, возможно, время работы фильтра. Адаптивный алгоритм на базе линейного фильтра (АЛ) описан в [1, 7]. Решение о замене пикселя принимается в зависимости от локальной дисперсии. Если локальная дисперсия велика по отношению к дисперсии всего изображения, то считается, что пиксель находится на границе и его изменять не нужно, в противном случае работает усреднение. Адаптация заключается в том, что не всегда происходит усреднение, это должно препятствовать размытию изображения в ходе фильтрации.

Адаптивный алгоритм на базе медианного фильтра (АМ) также описан в [1, 7]. В случае медианного фильтра значение пикселя всегда заменяется медианой, независимо от того, является ли этот пиксель импульсом. При повышении плотности импульсного шума медианный фильтр заметно ухудшает свою работу. Адаптация заключается в том, что сначала пиксель детектируется на импульс, то же происходит и с медианой. Замена происходит только в том случае, если пиксель есть импульс, а медиана – нет. Если импульсом оказалась медиана, происходит увеличение размеров апертуры, что изменит медиану и, возможно, даст лучшие результаты, поскольку теперь всё проверяется заново.

Размеры апертуры изменяются и в алгоритме на базе линейного, но с учётом вычисленной дисперсии, это – адаптивный алгоритм с изменением размера апертуры (АИРА) [8]. Известно, что размеры апертуры влияющие на степень сглаживания, меньшие размеры апертуры лучше сохраняют контрастные детали, но шум будет сглажен хуже. Большие размеры апертуры обеспечивают лучшее удаление шума, но могут размыть детали. Поэтому размер апертуры должен следовать за самим изображением: в монотонных областях можно работать с большими размерами апертуры, вблизи перепадов яркости размер апертуры следует уменьшать. Это реализовано в алгоритме на основе сопоставления дисперсий – локальной и всего изображения.

Линейные алгоритмы усредняют все точки апертуры вокруг центрального пикселя, что может привести к размытию деталей. Размытие можно уменьшить, выбирая среди точек апертуры такие, что имеют незначительные различия по яркости, и среднее брать по этим точкам. Апертура 5×5 разбивается на отдельные шаблоны из девяти вариантов (рис.1).

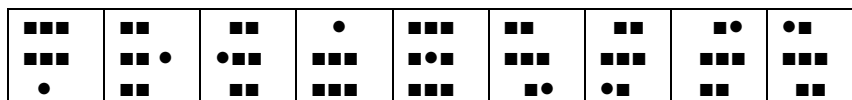


Рис.1. Шаблоны окон: ● – центральный пиксель, куда записывается выход фильтра, ■ – точки апертуры для расчёта характеристик фильтра.

Такой метод представляет собой объединение линейных и нелинейных методов в развитие идей, изложенных в [5]. Это – фильтр адаптивный с выбором шаблонов (АВШ). Уровень яркости центрального элемента определяется как среднее значение в шаблоне, где дисперсия будет наименьшей. Кроме уменьшения потерей деталей, такая обработка позволяет адаптировать алгоритм фильтрации к различным шумам, что

представляет особый интерес в случае, если тип шума заранее неизвестен.

На вопрос, какой фильтр лучше использовать в каждом конкретном случае, можно ответить, опробовав все эти методы. Для этого была разработана на языке C# система обработки изображений с учётом их статистических характеристик. Обработка изображений сопровождается вычислением количественных характеристик оценки качества фильтрации [9]. Результаты сравнения описанных фильтров по пиковому отношению сигнал/шум, а также линейного и медианного приведены в таблице.

Апертура линейного, медианного фильтров и АЛ имеет размеры 5×5 . Апертура в алгоритмах АМ и АИРА в процессе фильтрации изменяется от размеров 5×5 до размеров 11×11 . Изображения были зашумлены аддитивным гауссовым шумом ($m = 0$; $\sigma^2 = 0,2$; $0,5$) и импульсным шумом с плотностью $p = 0,1$; $0,2$.

Таблица

Отношение сигнал/шум для различных фильтров

Изображение или применяемый фильтр	Аддитивный гауссов шум		Импульсный шум	
	$\sigma^2=0,2$	$\sigma^2=0,5$	$p=0,1$	$p=0,2$
Зашумлённое изображение	40,69	28,79	27,03	23,51
Линейный фильтр	40,86	32,37	33,87	28,73
Медианный фильтр	36,88	29,68	32,77	24,72
АЛ	40,27	31,24	30,90	26,68
АМ	39,70	29,67	41,02	38,86
АИРА	29,35	30,39	29,42	29,85
АВШ	40,95	33,17	40,23	35,45

Значения отношения сигнал/шум после фильтрации разными методами увеличиваются. Для АМ и АВШ эти значения остаются примерно на одном и том же уровне. Сравнение по времени работы отдаёт предпочтение фильтрам на базе линейных, они примерно в 4 раза быстрее медианных. АМ увеличивает время обработки по сравнению с медианным, но незначительно. Время обработки у АВШ примерно такое же, как у медианного.

Аддитивный шум, как видно из таблицы, хорошо удаляется линейной фильтрацией. При малых значениях σ^2 отношение сигнал/шум исходного изображения имеет изначально достаточно большое значение, поэтому его увеличение после фильтрации невелико, при больших значениях σ^2 заметно преимущество линейных методов и их адаптивных аналогов. Но при этом наблюдается размытие изображения: наибольшее для линейного метода, меньше для АЛ и не наблюдается размытие в алгоритме АВШ. Таким образом, для аддитивного шума наилучшие результаты показал АВШ.

Импульсный шум хорошо удаляется медианным фильтром, но при этом заметно размытие границ, а также с увеличением плотности шума снижается его эффективность. АМ и АВШ лишены этих недостатков. С увеличением плотности шума лучшие результаты и по показателям и по снижению размытия у АВШ.

В случае комбинированного шума при небольших плотностях шума лучший результат у АМ, с увеличением плотности шума на первом месте АВШ. Если заранее характер шума неизвестен, имеет смысл попробовать АВШ, поскольку этот алгоритм неизменно даёт хороший результат.

На рис 2. представлен результат фильтрации на МРТ изображения, шум комбинированный.

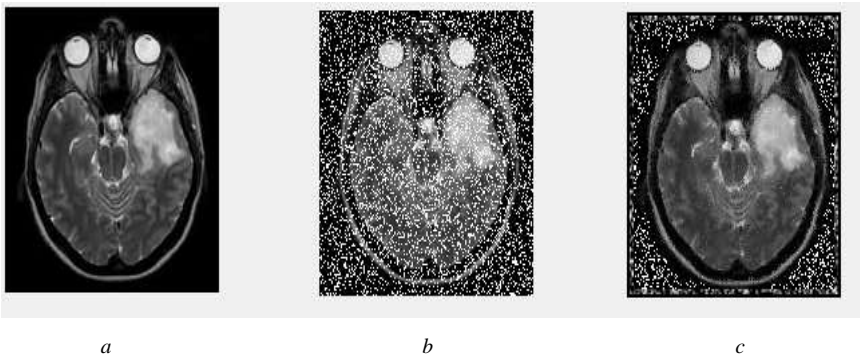


Рис.2. Результат фильтрации адаптивным медианным фильтром МРТ изображения (комбинированный шум, $\sigma^2 = 0,2, p = 0,2$): *a* – исходное изображение; *b* – зашумлённое изображение; *c* – восстановленное изображение.

Рис. 2 подтверждает оценки таблицы, визуально качество фильтрации может быть оценено как высокое. Результат работы фильтра АИРА тоже удовлетворительный, но после фильтрации изображение

менее контрастно. Этот недостаток можно исправить, используя гистограмму изображения.

Видоизменение гистограмм. Гистограмма содержит полезную статистическую информацию об изображении, которую можно использовать для улучшения его контраста. В системе реализован линейный метод преобразования гистограмм. Пример работы с гистограммой показан на рис. 3. На нём представлено три изображения: исходное, результат линейного контрастирования и результат изменения контраста адаптивным методом. Алгоритм линейного контрастирования требует определения минимального и максимального значения уровней яркости обрабатываемого изображения.

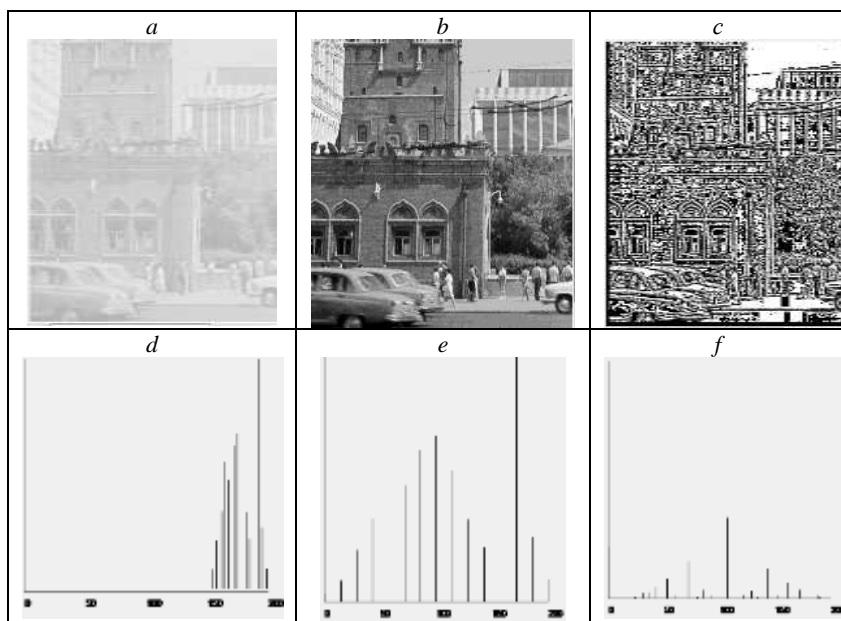


Рис. 3. Линейное преобразование гистограммы; *a* – исходное изображение; *b* – изображение после линейного контрастирования; *c* – контрастирование с использованием шаблонов; *d* – гистограмма исходного изображения; *e, f* – гистограммы после контрастирования линейного и с шаблонами соответственно

Адаптивный алгоритм рассчитывает минимальный и максимальный уровень яркости локально, в пределах апертуры. Нами предложено для адаптации алгоритма изменения контраста использовать выбор шаблонов, как это было описано в случае фильтрации. Выбирается

шаблон с минимальной дисперсией, а в нём вычисляется минимальное и максимальное значение уровня яркости. Этот алгоритм позволяет подчеркнуть границы изображения, что хорошо видно на рис. 3, с. После преобразования гистограмма в обоих случаях растягивается по всему диапазону (рис. 3, *d* и 3, *f*), что гарантирует метод линейного контрастирования.

Таким образом, адаптивные методы обработки изображений позволяют сглаживать шум изображения и изменять контраст, используя для этого статистические свойства изображения, увеличивая отношение сигнал/шум в изображении, уменьшая степень размытия границ и улучшая контраст изображения с подчёркиванием границ.

Выводы.

1. Использование статистических характеристик изображения действительно способствуют улучшению качества обработки изображений.

2. При сравнении алгоритмов фильтрации лучшие результаты по пиковому отношению сигнал/шум показал АМ, а при увеличении плотности шума – АВШ.

3. Фильтры АМ, АИРА, АВШ хорошо справляются со всеми видами шумов.

4. По времени работы фильтры на основе линейных примерно в четыре раза быстрее тех, что основаны на медианных фильтрах.

5. Предложен вариант линейного контрастирования с выбором шаблона при определении параметров обработки, что позволяет подчеркнуть детали изображения.

Список литературы: 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Изд-во ТЕХНОСФЕРА, 2005. – 1072 с. 2. Калинин В. Статистические, нейросетевые и комбинированные алгоритмы фильтрации аппликативных помех на изображениях / В. Калинин, А.А. Сирота // Автометрия. – 2012. – № 6. – С. 18-28. 3. Воскобойников Ю.Е. Адаптивный алгоритм фильтрации и преобразование изображений в векторный формат / Ю.Е. Воскобойников, А.Б. Колкер // Автометрия. – 2002. – № 4. – С. 3-11. 4. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 5. Digital Processing of Biomedical Images / Edited by K. Preston and M. Onoe. – PLENUM PRESS, New York, 1976. – 442 p. 6. Kyprianidis J.E. Image and Video Abstraction by Multi-scale Anisotropic Kuwahara Filtering / J.E. Kyprianidis // Proc. 9th Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR). – 2011. – P. 55–64. 7. Бондина Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Е. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 38 – С. 14-25. 8. Белявцев В.Г. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / В.Г. Белявцев, Ю.Е. Воскобойников // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 18-27. 9. Бондина Н.Н. Сравнение объективных оценок качества фильтрации медицинских изображений. / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, О.А. Козина // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 15-21.

Bibliography (transliterated): 1. *Gonsales R.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / *R. Gonsales, R. Vuds.* – M.: Izd-vo TEHNOSFERA, 2005. – 1072 s. 2. *Kalinin V.* Statisticheskie, nejrosetevye i kombinirovannye algoritmy fil'tracii aplikativnyh pomeshhenij na izobrazhenijah / *V. Kalinin, A.A. Sirota* // *Avtometrija*. – 2012. – № 6. – S. 18-28. 3. *Voskobojnikov Ju.E.* Adaptivnyj algoritm fil'tracii i preobrazovanie izobrazhenij v vektornyj format / *Ju.E. Voskobojnikov, A.B. Kolker* // *Avtometrija*. – 2002. – № 4. – S. 3-11. 4. *Jane B.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / *B. Jane.* – M.: Tehnosfera, 2007. – 584 s. 5. *Digital Processing of Biomedical Images / Edited by K. Preston and M. Onoe.* – PLENUM PRESS, New York, 1976. – 442 p. 6. *Kyprianidis J.E.* Image and Video Abstraction by Multi-scale Anisotropic Kuwahara Filtering / *J.E. Kyprianidis* // *Proc. 9th Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)*. – 2011. – S. 55–64. 7. *Bondina N.N.* Sravnitel'nyj analiz algoritmov fil'tracii medicinskih izobrazhenij / *N.N. Bondina, A.S. Kalmychkov, V.E. Krivencov* // *Vestnik NTU "HPI". Serija: Informatika i modelirovanie.* – Har'kov: NTU "HPI". – 2012. – № 38 – S. 14-25. 8. *Beljavcev V.G.* Algoritmy fil'tracii izobrazhenij s adaptaciej razmerov apertury / *V.G. Beljavcev, Ju.E. Voskobojnikov* // *Avtometrija*. – 1998. – № 3. – S. 18-27. 9. *Bondina N.N.* Sravnenie ob'ektivnyh ocenok kachestva fil'tracii medicinskih izobrazhenij / *N.N. Bondina, A.S. Kalmychkov, O.A. Kozina* // *Visnik NTU "HPI". Serija: Informatika ta modeljuvannja.* – Harkiv: NTU "HPI". – 2013. – № 39 (1012). – S. 15-21.

Поступила (received) 30.03.2014

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

Bondina Nina, Cand.Sci.Tech,
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: (057) 707-60-19, e-mail: bondinina@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0003-2413-0021

Murarov Ruslan, magistr
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
tel./phone: +38 0939646797, e-mail: myr4ik1@gmail.com