УДК 621.397: 004.932

А.В. Каменский

Методы повышения четкости телевизионных изображений высокого качества линейными алгоритмами

Объектом исследования являются линейные алгоритмы обработки изображений. В экспериментальной части работы использовались принципы обработки и анализа данных, разработанные ранее в лаборатории «Видеоинформационные технологии и измерительное телевидение». В процессе выполнения работы были выявлены оптимальные коэффициенты для используемых фильтров обработки изображений. Проведено сравнение эффективности линейных алгоритмов для различных изображений.

Ключевые слова: разрешающая способность, цифровая обработка изображений, лапласиан, нерезкая маска, двумерный квазиоптимальный цифровой фильтр, улучшение качества изображения.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-46-49

В статье рассмотрены методы повышения качества различных изображений. По тематике обработки и фильтрации изображений можно найти много материала, но в большей части это демонстрация работы фильтров и результатов выходных изображений после фильтрации. В данной работе предлагается более подробный анализ поведения выбранных фильтров и анализ их влияния на тестовые изображения различного качества.

Изображения, сформированные различными оптико-электронными системами и зарегистрированные с помощью разнообразных фотоприемников, искажаются действием помех различного характера. Искажения изображения вносятся всеми компонентами изображающего прибора, начиная с осветительной системы (например, неравномерность освещенности предмета). Искажения, которые вносит оптическая система, известны еще на этапе ее проектирования и называются аберрациями. Искажения, которые вносят электронные приемники излучения, например ПЗС-матрицы, называют электронным шумом. Помехи затрудняют визуальный анализ изображения и его автоматическую обработку. Ослабление действия помех достигается фильтрацией изображения. При фильтрации яркость (видеосигнал) каждой точки исходного изображения, искаженного помехой, заменяется некоторым другим значением яркости видеосигнала, которое признается в наименьшей степени искаженным помехой. Для выполнения фильтрации необходимо разработать принципы таких преобразований, которые основываются на том, что интенсивность изображения изменяется по пространственным координатам медленнее, чем функция помех. В других случаях, наоборот, признаком полезного сигнала являются резкие перепады яркости [1].

Постановка задачи

Задачей исследования является оценка эффективности линейных алгоритмов при обработке изображений высокого качества. Следует провести фильтрацию изображений линейными фильтрами с различными коэффициентами и установить оптимальные значения для линейных фильтров «лапласиан», «Unsharp Mask» (нерезкая маска) и «двумерный цифровой квазиоптимальный фильтр».

Необходимо провести сравнение полученных оптимальных коэффициентов фильтров с полученными значениями в ранее выполненных исследованиях.

Оператор «Лапласиан»

Оператор Лапласа – это есть вторая пространственная производная. После применения масок на основе лапласиана фон изображения устраняется и становится «серым». Данное преобразование изображения можно разделить на два этапа: обработать изображения сглаживающим фильтром; вычесть из исходного изображения обработанное изображение. Вычитание повысит резкость результирующего изображения. Апертуру используемого фильтра можно интерпретировать как сумму разностей центрального элемента с каждым из восьми его ближайших соседей. Таким образом, в равной степени учитываются возможные перепады яркости во всех направлениях [2].

Оператор «Unsharp Mask» (нерезкая маска)

Большинство оцифрованных изображений и несфокусированные фотографии нуждаются в повышении их четкости. Это происходит из-за того, что процесс оцифровки преобразует аналоговую яркостную шкалу в точки с слегка отличающимися яркостями, при этом некоторые элементы меньше, чем частота выборки, усредняются в однотонную яркость. Так, четкие края становятся размытыми, это происходит и при распечатке разных яркостей на бумаге.

Фильтр «нерезкая маска» увеличивает резкость краев, не повышая шума и не создавая изъянов.

После применения фильтра «Unsharp Mask» (контурная резкость) изображение кажется более сфокусированным, более резким за счет ореолов в переходных зонах [3].

Оператор «Двумерный цифровой квазиоптимальный фильтр» (ДЦКФ)

При линейном выделении объектов на фоновом изображении действие алгоритма можно представить последовательной сверткой этого изображения, с дифференцирующей и сглаживающей масками.

Для дискретного фильтра дифференцирующая маска будет эквивалентна одной из разновидностей дискретного аналога оператора Лапласа, а значения коэффициентов в сглаживающей маске будут определяться дискретизированными отсчетами сигнала от объекта.

Более подробную информацию об используемых фильтрах можно найти в работе «Методы повышения четкости телевизионных изображений линейными алгоритмами» [4].

Съемка тестового изображения осуществлялась при помощи цифрового фотоаппарата CanonSX50HS при естественном освещении. Формат матрицы фотоаппарата 1/2.3, разрешение 12 мегапикселей (4000×3000 пикселей).

В качестве тестового изображения использовалась таблица ISO 12233:2014, сгенерированная в программе Imatest с разрешением 3840×2160 элементов, содержащая один канал с глубиной дискретизации 8 бит (рис. 1) [5].

Рис. 1. Тестовое изображение таблицы ISO 12233:2014

Для определения разрешающей способности изображений необходимо знать функцию зависимости контраста между черными и белыми линиями, так называемую контрастно-частотную характеристику (КЧХ), которую позволяет сформировать программа Imatest [6].

Максимально возможное количество телевизионных линий (ТВЛ) будет получено в случае, если одна линия приходится на один пиксель, что соответствует значению 0,5 цикла на пиксель. Отсюда можно получить выражение для перевода числа циклов на пиксель в ТВЛ [7]:

$$\text{ТВЛ} = (\text{CPR}/0,5) \times \text{разрешение изображения}.$$

Здесь CPR – число «циклов на пиксель» на уровне 0,5, обозначаемое как MTF50.

Изображения обрабатывались фильтрами, в которых изменяли центральный коэффициент «А». На рис. 2 приведен пример маски размером 3×3, где А – центральный коэффициент, а коэффициенты В – периферийная зона маски.

В	В	В
В	А	В
В	В	В

Рис. 2. Маска размером 3×3 с центральным элементом А

Результаты эксперимента

В ходе проведения эксперимента тестовое изображение было обработано с использованием трех линейных алгоритмов фильтрации, проведены измерения и расчеты разрешающей способности с помощью ПО Imatest.

Данные, полученные в ходе проведения эксперимента, представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Результат обработки тестового изображения фильтром «Лапласиан»

Коэффициент А	1	2	3	4	5
MFT50	0,397	0,348	0,314	0,284	0,248
ТВЛ	2388	2093	1889	1708	1491

Таблица 2

Результат обработки тестового изображения фильтром «Unsharp Mask (нерезкая маска)»

Коэффициент А	1	2	3	4	5
MFT50	0,239	0,272	0,278	0,278	0,276
ТВЛ	1437	1636	1672	1672	1660

Таблица 3

Результат обработки тестового изображения фильтром ЦКФ

Коэффициент А	16	17	18	19	20
MFT50	0,369	0,363	0,356	0,35	0,347
ТВЛ	2219	2183	2141	2105	2087

Проведено измерение разрешения исходного изображения, и оно равняется 926 ТВЛ.

Из результатов эксперимента следует, что оптимальными коэффициентам фильтрации можно считать А = 1 для фильтра «Лапласиан», А = 4 – для «Unsharp Mask (нерезкая маска)» и А = 16 – для «ДЦКФ».

На графиках показаны контрастно-частотные характеристики (КЧХ) исходного изображения и обработанных изображений с оптимальными коэффициентами, полученных в ходе их экспериментальной обработки (рис. 3).

Рис. 3. Графики КЧХ исходного и обработанных изображений: 1 – исходное; 2 – лапласиан; 3 – Unsharp Mask (нерезкая маска); 4 – ДЦКФ

Приведем фрагменты изображений, для которых были построены графики КЧХ, чтобы продемонстрировать их визуальные изменения изображения (рис. 4).

Для сравнения результатов, полученных в данном эксперименте и проделанных ранее, изображения сняты на камеру EVIDENCE Apix-Bullet / M2 Lite LED 3312. Мегапиксельная IP-видеокамера с ИК-подсветкой предназначена для использования в уличных условиях. Качество изображения, которое обеспечивает EVIDENCE Apix-Bullet / M2 Lite LED 3312, отвечает требованиям, предъявляемым к современным системам видеонаблюдения. Приведем ранее полученные данные [4].

Рис. 4. Фрагменты исходного и обработанных изображений: 1 – исходное; 2 – лапласиан; 3 – Unsharp Mask (нерезкая маска); 4 – ДЦКФ

При изображении, ухудшенном при помощи расфокусировки, значение разрешения получилось равным 222 ТВЛ и после обработки изображения фильтрами были получены следующие результаты (рис. 5):

- лапласиан $A=1$, разрешение 436ТВЛ;
- Unsharp Mask (нерезкая маска) $A=5$, разрешение 367 ТВЛ;
- ДЦКФ $A=18$, разрешение 442ТВЛ.

Рис. 5. График КЧХ для изображения, ухудшенного при помощи расфокусировки: 1 – исходное изображение; 2 – лапласиан; 3 – Unsharp Mask (нерезкая маска); 4 – ДЦКФ

Приведем фрагменты изображений, для которых были построены графики КЧХ, чтобы продемонстрировать визуальные изменения обработанных изображений (рис. 6).

Рис. 6. Фрагменты исходного и обработанных изображений: 1 – исходное; 2 – лапласиан; 3 – Unsharp Mask (нерезкая маска); 4 – ДЦКФ

Обсуждение результатов

Для выбранного тестового изображения наименьшую эффективность по значениям разрешения среди всех использованных в эксперименте фильтров показал фильтр «Unsharp Mask» (нерезкая маска).

Наиболее эффективным методом фильтрации тестового изображения является фильтр «Лапласиан». Данный метод фильтрации дал лучший результат по значениям ТВЛ среди всех использованных в эксперименте методов фильтрации.

Самые стабильные и равномерные изменения разрешения при обработке показал фильтр ДЦКФ.

Также можно отметить тот факт, что визуальные изменения качества изображения легко определить и без использования программного обеспечения при оценке качества изображения, что продемонстрировано на фрагментах изображения, приведенных выше.

Выводы и заключение

1. Из анализа полученных данных в ходе проведения эксперимента и анализа полученных зависимостей в данном эксперименте и проделанных ранее работах можно сделать вывод о том, что наилучшие результаты фильтрации в улучшении качества изображения показывает фильтр «Лапласиан». Что касается количественной оценки улучшения качества изображения, то оно составляет увеличение разрешения в 2 раза и более чем в два раза в случае, когда использовалось тестовое изображение более высокого качества.

2. Наименьшую эффективность среди всех использованных в эксперименте фильтров показал фильтр «Unsharp Mask» (нерезкая маска). При фильтрации максимально полученное значение разрешения обработанного изображения показало повышение разрешения, не превышающее значение разрешения в 1700 ТВЛ для изображения высокого качества и 370 ТВЛ для изображения стандартного качества. При этом был показан значительный подъем разрешения в диапазоне от 1,5 до 2 раз.

3. Метод фильтрации с использованием двумерного цифрового квазиоптимального фильтра показывает стабильное повышение значения разрешения и качества изображения. Это связано с размерами масок и ее коэффициентами (лапласиан имеет маску размеров 3×3 , в то время как ДЦКФ 5×5). Проводя визуальную оценку изображений, отфильтрованных ДЦКФ, можно отметить плавное изменение качества отфильтрованного изображения. Что касается количественной оценки изменений, то она также превышает исходные значения разрешения в 2 раза и более в рамках выбранных коэффициентов фильтрации.

4. Если при фильтрации использовать коэффициенты, при которых сумма коэффициентов матрицы равна нулю то происходит искажение и оконтуривание изображения. При больших значениях центрального коэффициента и радиуса размытия эффект воздействия фильтров на изображения уменьшается.

5. Подводя итог проделанной работе и выводам, сделанным в ней, можно определить оптимальные коэффициенты фильтрации. Проведя анализ полученных значений и визуальную оценку качества изображений можно определить оптимальные коэффициенты фильтрации, подходящие для различных типов изображений:

- лапласиан $A = 1$;
- Unsharp Mask (нерезкая маска) $A = 5$;
- ДЦКФ $A = 18$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту 8.9562.2017/БЧ и гранту РФФИ № 16-47-700939.

Литература

1. Учебное пособие по курсу «Компьютерная обработка изображений» [Электронный ресурс]. – URL: http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/7_01.html (дата обращения: 1.10.2016).
2. Фильтры улучшения изображения [Электронный ресурс]. – URL: http://algorithmiclib.org/sharpen_filter (дата обращения: 1.10.2016).
3. Нерезкая маска [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.gimp.org/ru/plugin-unsharp-mask.html> (дата обращения: 1.10.2016).
4. Каменский А.В. Методы повышения четкости телевизионных изображений линейными алгоритмами [Электронный ресурс]. – URL: <http://old.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/science/events/conferences/archive/2015-2.pdf> (дата обращения: 1.03.2016).
5. Капустин В.В. Оценка качества изображений высокого разрешения при внутрикадровом сжатии в стандартах JPEG и JPEG2000 / В. В. Капустин, А.В. Каменский // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 27–31.
6. Imatest Documentation by Norman Koren [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.imatest.com/docs/> (дата обращения: 1.03.2016).
7. Malanin M.Y. Optimization of parameters of two-dimensional filters of increase of clearness of television images on contrastly to frequency characteristics // M.Y. Malanin, A.V. Kamenskiy, M.I. Kuryachiy [Электронный ресурс]. – URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=7147136&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D7147136 (дата обращения: 10.05.2016).

Каменский Андрей Викторович

Аспирант каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
Тел.: +7-952-893-78-35
Эл. почта: andru170@mail.ru

Kamenskiy A.V.

Methods to increase definition of high quality television images using linear algorithms

The study is focused on the linear image processing algorithms. In the experimental part of the work we used the principles of data processing and analysis of the laboratory workshop, developed earlier during the project GAP TU-1203 and introduced into the educational process of TUSUR Department of Television and Control. When carrying out the work, the optimal coefficients used for image processing filters were identified. A comparison of the efficiency of linear algorithms for different images is done.

Keywords: resolution, digital image processing, Laplacian, unsharp mask, two-dimensional quasi-optimal digital filter, image enhancement.