

УДК 004.932.4

ПРОБЛЕМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ПРИ РЕДАКТИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© Н.В. Седова

Ключевые слова: шумоподавление; методы фильтрации; виды шума на изображении; источники шума.

При получении изображения любыми не машинными методами всегда наблюдается наличие шума. Поэтому проблема шумоподавления является актуальной, особенно для систем оптической диагностики, интерферометрии и простой коррекции фотографий. Существует множество алгоритмов, направленных улучшить качество изображения, полученного путем фотографирования или записи видеопоследовательности. Каждый алгоритм работает с определенным видом шума и реализует определенный вид фильтрации, поскольку идеального многозадачного фильтра пока не существует.

Прикладные работы в области компьютерной графики аккумулируются в области визуализации, обработки изображений и распознавания образов.

Проблема визуализации заключается в создании изображения на основе некоторого описания (модели). Это может быть отображение графика, схемы, имитация трехмерной виртуальной реальности в компьютерных играх, в системах архитектурного проектирования.

Основная задача распознавания образов – получение семантического описания изображенных объектов. Цели распознавания могут быть разными: как выделение отдельных элементов на изображении, так и классификация изображения в целом. В какой-то степени задача распознавания является обратной по отношению к задаче визуализации. Области применения – системы распознавания текстов, создание трехмерных моделей человека по фотографиям и т. п.

Обработка изображений отвечает за преобразование (фильтрацию) изображений. Примерами могут служить повышение контраста, резкости, коррекция цветов, сглаживание. Задачей обработки изображения может быть как улучшение (восстановление, реставрация) изображения по какому-то определенному критерию, так и специальное преобразование, кардинально меняющее изображение. В последнем случае обработка изображений может быть промежуточным этапом для дальнейшего распознавания изображения (например, для выделения контура объекта).

Если изображение создается не средствами машинной графики, а получается посредством оцифровки, то на нем обязательно присутствует посторонний шум, зачастую ухудшающий качество изображения. Цифровой шум проявляется в виде случайным образом расположенных элементов раstra (точек), имеющих размеры, близкие к размеру пикселя.

На отношении сигнал-шум влияют шумы аналоговой электроники цифрового фотоаппарата («обвязка», усилители, АЦП), но основным источником цифрового шума является фотосенсор. Цифровой шум в фотосенсоре возникает по следующим причинам:

- дефекты (примеси и др.) потенциального барьера вызывают утечку заряда, сгенерированного за время экспозиции – т. н. черный дефект;

- темновой ток – является вредным следствием термоэлектронной эмиссии и «туннельного» эффекта и возникает в сенсоре при подаче потенциала на электрод, под которым формируется потенциальная яма. Такие дефекты видны на темном фоне в виде светлых точек – это белый дефект;

- из-за шума, возникающего вследствие стохастической природы взаимодействия фотонов света с атомами материала фотодиодов сенсора;

- из-за наличия дефектных (не работающих) пикселей, которые возникают при производстве фотосенсоров (несовершенство технологии) и всегда находятся в одном и том же месте;

- из-за гамма-коррекции. Гамма-коррекция может осуществляться в электронном тракте или в процессоре. Наш глаз имеет логарифмическую чувствительность к свету, а фотосенсоры – линейную, поэтому слабые сигналы усиливаются больше, чем сильные, чтобы изображение имело привычный для человека вид.

Цифровой шум отличается от изображения более светлым или темным оттенком серого и цвета (яркостный шум) и/или по цвету (хроматический шум).

Цифровой шум придает фотографии неестественный вид – создается ощущение, что на изображение наложена маска из точек различной яркости и цвета. В особенности, цифровой шум портит восприятие однотонно-окрашенных частей изображения (например, голубого неба) и объемное восприятие объектов заднего плана, находящихся не в фокусе.

Сама по себе величина шума – характеристика понятийная и малоинформативная. Поэтому рассматривается характеристика отношения сигнал-шум. Математический анализ цифрового шума выявляет нелинейную структуру в фотографическом изображении.

Задача шумоподавления является наиболее актуальной при решении практических задач восстановления и реставрации изображений. Кроме визуального улучшения качества изображения шумоподавление может использоваться и в специальных целях: для отсеивания шумовых выбросов при проведении экспериментальных исследований в области микро- и нанопроцессинга, для улучшения качества рентгеновских снимков в медицине, интерференционных полос и др.

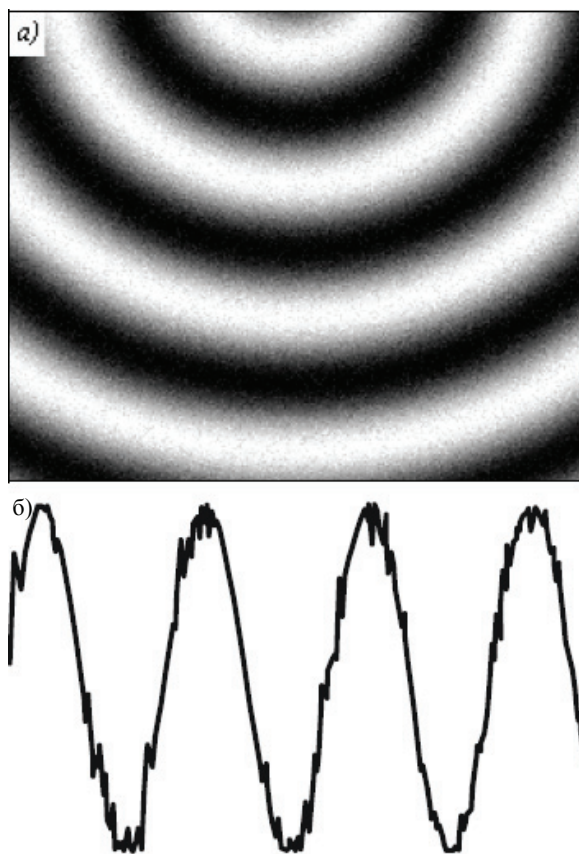


Рис. 1. Интерферограмма с полезным сигналом, искаженным белым шумом (а), и распределение освещенности на интерферограмме вдоль ее вертикальной оси (б) [1]



Рис. 2. Практическое применение алгоритмов фильтрации белого шума в изображении

Наиболее распространенным является белый гауссовский шум, который является следствием приема сигнала недостаточно хорошего качества, цветные пятна и импульсный шум, который возникает чаще всего при передаче изображения по аналоговым каналам.

Основными причинами возникновения белого шума являются ошибки восприятия сигнала видеокамерой или при его передаче в компьютер. Наличие белого шума приводит к искажению значения освещенности в точках изображения с некоторой вероятностью (рис. 1).

Наиболее удобным методом подавления белого шума является метод скользящей средней, который в общем случае используется для сглаживания изображений. Однако при его использовании наряду с подавлением белого шума снижается контрастность изображения и происходит небольшое смещение в плоскости изображения. Для исправления указанных недостатков

необходимо вычислять новое значение освещенности лишь для тех точек, в которых собственное значение освещенности искажено белым шумом. Они определяются из условия того, что модуль разности освещенности исследуемой точки и освещенности каждой из восьми соседних точек больше некоторой величины ε , которая, в зависимости от уровня помех, выбирается в районе четырех процентов от максимального уровня воспринимаемого сигнала. При этом новая величина освещенности зашумленной точки рассчитывается по формуле:

$$I(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_k(0).$$

Здесь N – число направлений, по которым строятся аппроксимирующие функции вида $f_k(t) = a_k t^2 + b_k t + c_k$. Параметры a_k , b_k , c_k находятся методом наименьших квадратов от точек $f_k(-2)$, $f_k(-1)$, $f_k(1)$, $f_k(2)$, равных при $N = 4$ для каждой из функций, соответственно, $I(x-2, y-2)$, $I(x-1, y-1)$, $I(x+1, y+1)$, $I(x+2, y+2)$, $I(x-2, y)$, $I(x-1, y)$, $I(x+1, y)$, $I(x+2, y)$, $I(x, y-2)$, $I(x, y-1)$, $I(x, y+1)$, $I(x, y+2)$, $I(x-1, y+1)$, $I(x+1, y-1)$, $I(x+2, y-2)$ [1].

Как показывает практика обработки изображений, такой метод позволяет наиболее точно определить величину освещенности для точек максимума и минимума, что почти не приводит к возникновению ошибки при определении функции деформации волнового фронта (рис. 2).

В зависимости от того, какой вид шума присутствует в изображении, подбирается и алгоритм фильтрации, но, как правило, большинство фильтров ориентировано на гауссовский шум как наиболее распространенный и легко реализуемый. Основная проблема, возникающая при реализации фильтрации – сохранение четкости краевых функций мелких предметов. Возникновение ореола вокруг предметов является результатом усреднения пикселей изображения вдоль границ объектов. Для устранения эффекта размытия во временные фильтры встраивают алгоритмы компенсации движения, что частично решает проблему, но снижает скорость обработки изображений и приводит к возникновению артефактов. Артефакты (предметы, ранее отсутствовавшие на изображении) возникают из-за неточного нахождения корректирующих блоков, поэтому перед разработчиками как временных, так и пространственных фильтров стоит задача уточнения разбиения изображения на блоки фильтрации.

Метрика оценки улучшения качества изображений может быть различной. Чаще всего для этих целей используется метрика PSNR (peak signal-to-noise ratio – пиковое соотношение сигнал/шум), которая определяется формулой:

$$PSNR(x, y) = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(x_i, y_i)^2}},$$

где x_i , y_i – i -е пиксели двух сравниваемых изображений, N – общее число пикселей на каждом изображении,

а $d(x_i, y_i)$ – разность между цветами соответствующих пикселей (для оттенков серого это просто разность значений пикселей, а для цветных изображений – евклидово расстояние между пикселями в трехмерном цветовом пространстве). Соответственно, чем ближе отфильтрованное изображение к оригинальному, тем больше значение PSNR, и тем лучшим считается качество работы алгоритма [2].

Однако оценка посредством метрик имеет свои отрицательные стороны. Высокое значение PSNR может быть получено для изображений, с которых вследствие применения фильтрации шумоподавления исчезают некоторые детали. Поэтому кроме метрик качества необходимо еще и визуальное сравнение изображений.

При оценке качества работы временных фильтров часто используются межкадровая разница – чем меньше она становится после обработки видео фильтром шумоподавления, тем лучше считается качество этого фильтра.

Другим методом строгой математической оценки эффективности программных методов обработки изображений является выбор универсального целевого функционала.

Рассмотрим задачу поиска комплексного целевого функционала для расчета многокритериального показателя, объективно отражающего качество принципиально различных методов и алгоритмов фильтрации-сегментации изображений.

Количество критериев оценки должно соответствовать факторам возникновения шумов и помех, а также основным формам представления и описания изображений. Наиболее общими способами описания являются векторно-матричное представление и представление с использованием детерминированных или стохастических функций, а также на их основе структурное, признаковое и множественное представления.

Качество различных методов и алгоритмов целесообразно оценивать мерой близости (схожести) вектора изображения в k -мерном пространстве после фильтрации-сегментации с некоторым идеализированным (эталонным) вектором, который должен быть получен в результате идеального алгоритма. Размерность пространства $k = m \times n$, где m и n – соответственно число строк и столбцов изображения. Эталонный вектор изображения должен содержать только компоненты, относящиеся к контурным линиям (идеальная сегментация) и не содержать шумов (идеальная фильтрация).

В зависимости от вида шума, присутствующего на изображении, применяются соответственно различные методики его подавления. Известно достаточно много методов фильтрации и сегментации изображений. Столь широкое их многообразие определяется различными факторами возникновения шумов и помех, а также формами представления изображений. Например, известно, что для фильтрации белого гауссовского шума наиболее подходят линейная или нелинейная медианная фильтрация, для подавления низкочастотной составляющей шума эффективны спектральные методы и вейвлет-преобразования, для фильтрации высокочастотной составляющей – цифровые фильтры, фильтрации фона – согласованные и винеровские фильтры и т. д.

Основные методы фильтрации:

- 1) Линейное усреднение пикселей по соседям.

Подавление цифрового стохастического шума проводится усреднением (интегрированием по множеству или апертуре) для каждого пикселя. Например, одной из распространенных апертурных методик подавления шума является операция свертки. Принятый сигнал $r(t)$ можно выразить следующим образом:

$$r(t) = s_s(t) * h_c(t) + n(t),$$

где знак «*» представляет собой операцию свертки, $s_s(t)$ – поврежденную версию сигнала, а $n(t)$ – процесс шума.

При подавлении шума усреднением несколько ухудшается резкость на конечном цифровом изображении.

Увлечение противозумовым фильтром, увеличением резкости поля и границ кадра приводит к тому, что изображение приобретает характерные для цифровых фильтров искажения – теряются оттенки на переходах яркости и цвета, снижается насыщенность тона, становится видна структура раstra и пр.

2) Медианная фильтрация.

Представляет собой более сложный фильтр, действующий в вычислениях окрестность пикселя. Медианная фильтрация определяется следующим образом:

$B_{median}(x, y) = median\{N(x, y)\}$, т. е. результат фильтрации есть медианное значение пикселей окрестности, форма которой выбирается произвольно. Медианная фильтрация способна эффективно справляться с помехами в более общем случае, когда помехи независимо воздействуют на отдельные пиксели. Например, такими помехами являются «битые» и «горячие» пиксели при цифровой съемке, «снеговой» шум, когда часть пикселей заменяется на пиксели с максимальной интенсивностью, и т. п. Преимущество медианной фильтрации перед линейной сглаживающей фильтрацией заключается в том, что «горячий» пиксель на темном фоне будет заменен на темный, а не «размазан» по окрестности.

3) Математическая морфология.

В морфологическом анализе бинарное изображение рассматривается как вид задания формы двумерной геометрической фигуры (пиксели, равные 1, считаются лежащими внутри фигуры, а равные 0 – вовне). Морфологический анализ активно применяется в таких приложениях, как векторизация изображений, оптическое распознавание символов и другие задачи распознавания образов.

Базовыми морфологическими операторами являются фильтры минимум и максимум. В результате их применения форма, задаваемая изображением, сужается и, соответственно, расширяется, поэтому в морфологическом анализе данные фильтры называют сужающим и расширяющим.

Часто применяемыми составными морфологическими операторами являются открывающий и замыкающий фильтры. Первый состоит в последовательном применении сужающего и расширяющего операторов с одинаковым структурным элементом. Его морфологический эффект заключается в удалении малых изолированных частей фигуры. Применение сначала расширяющего, а затем сужающего оператора дает замыкающий фильтр. Его эффект заключается в заполнении малых изолированных дырок фигуры. В обоих случаях

«малость» объекта определяется размером и формой структурного элемента операторов.

- 4) Гауссовское размытие.
- 5) Методы на основе вейвлет-преобразования.
- 6) Метод главных компонент.
- 7) Анизотропная диффузия.
- 8) Фильтры Винера.

Для статичных изображений наилучшее качество фильтрации дают методы, основанные на вейвлет-преобразованиях.

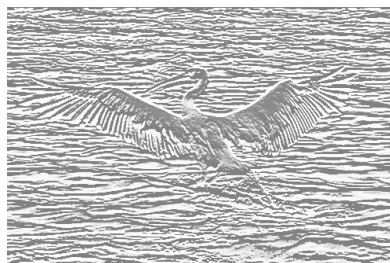
Вейвлет-преобразование изображений обладает свойством компактирования энергии, т. е. позволяет сосредоточить полезную информацию о деталях изображения в относительно малом числе вейвлет-

коэффициентов. Поэтому можно обнулить (или подавить по амплитуде) большую часть остальных коэффициентов, которые относятся к шуму, и провести обратное преобразование для восстановления обработанного изображения. Кроме того, вейвлет-преобразование позволяет подавлять шум в различных масштабах, включая низкочастотные, «крупные» шумы.

Применение на практике описанных алгоритмов дает возможность студентам не только проанализировать изображение, скорректировать его различными способами и добиваться не только улучшения качества изображения (рис. 3), но и получать различные эффекты, нашедшие широкое применение в Web-графике (рис. 4).



Рис. 3. Результат применения фильтрации к изображению



а)

б)

в)

Рис. 4. Пример применения различных способов фильтрации: а) исходное изображение; б) выдавливание объекта; в) очерчивание краев

ЛИТЕРАТУРА

1. Грейсх Г.И., Ежов Е.Г., Земцов А.Ю., Степанов С.А. Разработка методов и программных средств подавления шумов в интерферограммах на этапе их предварительной обработки. URL: <http://rec14.smr.ru/index.php?item=conferences>.
2. Методы компьютерной обработки изображения / под ред. В.А. Соифера. М., 2003.

Поступила в редакцию 19 апреля 2009 г.

Sedova N.V. Problem of noise reduction during the image editing. At reception of the image by any non-mechanical method the noise presence is always observed. Therefore the problem of the noise reduction is actual, especially for systems of optical diagnostics, interferometry and simple correction of photos. There are plenty of algorithms routed to improve the quality of the image received by photography or recording of the video sequence. Each algorithm works with certain sort of noise and realizes certain sort of filtering as the ideal multitask filter does not exist yet.

Key words: noise reduction; noise reduction; filtration methods; kinds of noise in the image; noise sources.