#### Министерство образования и науки Российской Федерации

# ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра математического анализа

#### Методы подавления шума на изображениях

## Автореферат

студентки 2 курса 219 группы направления 01.04.02 — Прикладная математика и информатика Механико-математического факультета Медведевой Ксении Сергеевны

Научный руководитель		
ассистент		Г. С. Бердников
должность, уч. степень, уч. звание	подпись, дата	инициалы, фамилия
Зав. кафедрой		
д.фм. наук, профессор		Д. В. Прохоров
уч. степень, уч. звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

## Введение

Многочисленные сферы технического оборудования, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче данных, в значительной степени ориентируются на сегодняшний день на формирование и развитие систем, в которых информация имеет вид изображений. Изображение, которое возможно анализировать как двумерный сигнал, считается более емким носителем данных, чем обычный одномерный (временной) сигнал. При этом разрешение академических и технических задач при работе с визуальными данными требует специальных методов обработки изображений. Масштаб изучений в области цифровой обработки изображений быстро нарастает. Данное обусловливается тем, что обработка изображений — это обработка многомерных сигналов, а большая часть сигналов в реальном мире многомерные.

Цифровой обработкой изображений называется обработка цифровых изображений с помощью цифровых вычислительных машин (компьютеров). Заинтересованность в методах цифровой обработки изображений происходит из двух главных сфер ее использования:

- повышение качества изображения для улучшения его зрительного восприятия людьми;
- обработка изображений для их сохранения, передачи и представления в автономных системах машинного зрения.

Для улучшения качества изображений применяют различные алгоритмы шумоподавления. Шумоподавление — процесс ликвидации шумов из нужного сигнала с целью увеличения его субъективного качества, или для снижения степени погрешностей в каналах передачи и системах сохранения цифровых данных. Все приборы записи, как аналоговые, так и цифровые, обладают свойствами, которые делают их восприимчивыми к шуму. Шум может быть случайным и не когерентным, то есть не связанный с самим сигналом, или когерентным, вносимый устройствами записи и алгоритмами обработки.

Оценка качества устранения шума выполняется следующим способом. На незашумленное изображение накладывается искусственный шум, далее полученное изображение фильтруется методом шумоподавления и приравнивается к начальному с помощью какой-нибудь метрики. Чаще всего для этой цели применяют метрику PSNR (peak signal-to-noise ratio — пиковое соотношение сигнал/шум). При этом дополнительно используется разумная субъективная оценка.

Например, к более нечеткому изображению, в котором вместе с шумом были удалены небольшие элементы, может иметь значение PSNR выше, чем изображение с более аккуратно подавленным шумом. Зрительные оценки при этом продемонстрируют предпочтение второго изображения.

Ряд первоначальных проблем, сопряженных с улучшением визуального качества первых цифровых изображений, принадлежал к выбору процедуры печати и распределению степеней насыщенности. С ними впервые столкнулись в газетном деле в начале 1920-х годов. Хроника цифровой обработки изображений непосредственно связана с развитием цифровой вычислительной техники. В самом деле, для цифровых изображений необходима такая большая память и вычислительная мощность, что прогресс в сфере цифровой обработки изображений в значительной степени определяется развитием компьютеров и вспомогательных технологий для хранения, отображения и передачи данных.

Цель магистерской работы: изучение и реализация алгоритмов шумоподавления на изображениях. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- Изучить различные представления цифровых изображений.
- Изучить пространственные методы шумоподавления.
- Изучить дискретное преобразование Фурье и его приложение к частотным методам шумоподавления.
- Реализовать изученные алгоритмы шумоподавления (была выбрана система Microsoft Visual Studio, язык  $C\sharp$ ).

Магистерская работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

# Основное содержание работы

Введение раскрывает актуальность темы, цель, задачи и методы исследования, раскрывает теоретическую и практическую значимость работы.

В первой главе "Цифровые изображения" определяются основные понятия, связанные с цифровыми изображениями. Рассматриваются свойства и особенности аналоговых и дискретных изображений. Приводятся примеры трех моделей представления цветовых изображений: RGB, CMY или CMYK, HSI.

Изображение можно определить как двумерную функцию f(x,y), где x и y - координаты в пространстве, и значение f которой в любой точке, задается двумя пространственными координатами (x,y).

Во второй главе определяются цели и задачи шумоподавления. Рассматриваются основные виды цифровых шумов: белый шум, импульсный шум, цветные пятна, шум вида «соль и перец».

Шумоподавление предназначается для улучшения зрительного восприятия изображений, но может также применяться для каких-то специализированных целей, например, в медицине для повышения четкости изображения на рентгеновских снимках, в качестве предобработки для последующего распознавания.

Цифровой шум — дефект изображения, вносимый фотосенсорами и электроникой приборов, которые их применяют (цифровой фотоаппарат, теле-/видеокамеры и т. п.) из-за несовершенства технологий, численными способами постобработки или плохими условиями съемки. Цифровой шум виден на изображениях в виде наложенной маски из пикселей случайного цвета и яркости.

Алгоритмы шумоподавления обычно специализируются на подавлении какого-то конкретного вида шума. Не существует пока универсальных фильтров, детектирующих и подавляющих все виды шумов.

В третьей главе "Пространственные методы улучшения изображений "описывается схема реализации пространственных фильтров. А также случаи, когда центр фильтра приближается к границам изображения. В подпункте "Линейные фильтры" описывается идея использования сглаживающих фильтров и способы их реализации. В подпункте "Медианный фильтр" рассказывается о реализации данного фильтра и основной функции.

Некоторые локальные преобразования оперируют одновременно как со значениями пикселей в окрестностях, так и с соответствующими им значениями некоторой матрицы, имеющие те же размеры, что и окрестность. Такую матрицу называют фильтром или маской. Значения элементов матрицы принято называть коэффициентами.

Пространственная фильтрация изображений - это метод предварительной

фильтрации, при котором обработка происходит посредством применения некоторого оператора последовательно к каждой точке изображения. Процесс основан на простом перемещении маски фильтра от точки к точке изображения; в каждой точке (x,y) отклик фильтра вычисляется с использованием предварительно заданных связей.

Фильтрация изображения f, имеющего размеры  $M \times N$ , с помощью фильтра размерами  $m \times n$  задается выражением общего вида:

$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x+s,y+t),$$

где a=(m-1)/2 и b=(n-1)/2. При фильтрации всего изображения данная формула должна быть вычислена для всех сочетаний x=0,1,2,...,M-1 и y=0,1,2,...,N-1. Это означает, что все элементы изображения будут обработаны по заданной маске.

Реализация простейшего линейного сглаживающего пространственного фильтра состоит в усреднении значений компонентов по окрестности, покрытой маской фильтра. Подобные фильтры иногда называют усредняющими или сглаживающими.

Заметим, что сглаживание шума при использовании многих фильтров представляют в виде определения дискретной свертки функции f с ядром w

$$h = \lfloor S \rfloor, S = S(x, y) = \sum_{(\xi, \eta)} f_{x+\xi, y+\eta} \cdot w_{\xi, \eta},$$

где  $d_{x+\xi,y+\eta} \in O_{x,y}, w_{\xi,\eta}$  — весовые коэффициенты маски фильтра  $\sum_{(\xi,\eta)} w_{\xi,\eta} = 1$ . Заменой исходных значений элементов изображения на средние значения по маске фильтра достигается снижение «резких» переходов уровней яркости. Поскольку непроизвольный шум характеризуется резкими скачками яркости, наиболее очевидным использованием сглаживания является подавление шума. Однако контуры, которые обычно представляют интерес на изображении, также характеризуются резкими перепадами яркостей, поэтому отрицательной стороной использования сглаживающих фильтров является расфокусировка контуров. Основное использование сглаживающих фильтров состоит в подавлении «несущественных» деталей на изображении. Под «несущественными» понимаются совокупности пикселей, которые малы по сравнению с размерами маски фильтра.

Область применения: не импульсные шумы. Для устранения таких шумов применяются методы сглаживающей фильтрации. Импульсный шум будет раз-

мазываться по изображению. Общий зрительный эффект зависит от размера фильтра.

Медиана набора чисел есть такое число  $\xi$ , что половина чисел из набора меньше или равны  $\xi$ , а другая половина - больше или равны  $\xi$ . Чтобы осуществить медианную фильтрацию для элемента изображения, следует сначала упорядочить по возрастанию значения пикселей внутри окрестности, потом найти значение медианы и присвоить полученное значение обрабатываемому элементу. Так, для окрестности  $3\times 3$  элементов медианой будет пятое значение по величине, для окрестности  $5\times 5$  - тринадцатое значение. Если несколько элементов в окрестности имеют равные значения, то эти значения будут сгруппированы.

Область применения: импульсные шумы. Медианная фильтрация способна эффективно справляться с помехами в более общем случае, когда шумы независимо воздействуют на отдельные пиксели. Преимущество медианной фильтрации перед линейной сглаживающей фильтрацией заключается в том, что зашумленный пиксель белого цвета на темном фоне будет заменен на темный, а не разглажен по окрестным пикселям белым цветом.

Четвертая глава посвящена частотным методам улучшения изображений и различным фильтрам. Пространственные методы работают с самими изображениями, с координатами изображения. Частотные методы – с преобразованием Фурье.

Прямое фурье-преобразование F(u) непрерывной функции одной переменной f(x) определяется равенством

$$F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-i2\pi ux}dx,$$

где i - мнимая единица. Наоборот, по заданному фурье-преобразованию F(u) можно получить исходную функцию f(x) при помощи обратного преобразования Фурье:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(u)e^{i2\pi ux}du.$$

Эти преобразованию составляют пару преобразований Фурье, а входящие в них функции образуют фурье-пару. Зная фурье-образ можно получить исходную функцию. Указанные преобразования легко можно распространить на функции

двух переменных:

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y)e^{-i2\pi(ux+vy)}dxdy$$

и, аналогичной, для обратного преобразования

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u,v)e^{i2\pi(ux+vy)}dudv.$$

Дискретное прямое и обратное преобразование Фурье допускают непосредственное обобщение на двумерный случай. Прямое дискретное фурье-преобразование функции F(x,y) (изображения) размерами  $M \times N$  задается равенством

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-i2\pi(ux/M + vy/N)}.$$

Как и в одномерном случае, это выражение должно быть вычислено для всех u=0,1,2,...,M-1 и также для всех v=0,1,2,...,N-1. Аналогично, по заданному фурье-преобразованию F(u,v), мы можем получить f(x,y) при помощи обратного преобразования Фурье, задаваемого выражением

$$f(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{i2\pi(ux/M + vy/N)},$$

где x=0,1,2,...,M-1 и y=0,1,2,...,N-1. Данные равенства составляют пару двумерных дискретных преобразований Фурье (ДПФ) (прямое и обратное). Переменные u и v называются переменными преобразования или частотными переменными, переменные x и y - пространственными переменными или переменными изображения.

Процедура фильтрации в частотной области состоит из следующих шагов: Пусть f(x,y) - исходное изображение.

1. 
$$\tilde{f}(x,y) = (-1)^{x+y} \cdot f(x,y)$$
  
Исходное изображение умножается на  $(-1)^{x+y}$ , чтобы его фурье-преобразование оказалось центрированным;

2.  $F(u,v) = \mathcal{F}(\tilde{f}(x,y))$ Вычисляется прямое ДПФ F(u,v) изображения, полученного после шага 1; 3.  $F(u,v)\cdot H(u,v)=G(u,v)$ Функция F(u,v) умножается на функцию фильтра H(u,v);

4.  $\mathcal{F}^{-1}(G(u,v)) = \tilde{f}_{\phi}$ 

Вычисляется обратное ДПФ от результат шага 3;

5. 
$$(-1)^{x+y} \cdot Re(\tilde{f}_{\phi}) = f_{\phi}$$

Выделяется вещественная часть результат шага 4 и умножается на  $(-1)^{x+y}$ 

Пара преобразований Фурье обладает следующими трансляционными свойствами (свойствами по отношению к сдвигам):

$$f(x,y)e^{i2\pi(u_0x/M+v_0y/N)}) \Leftrightarrow F(u-u_0,v-v_0)$$

И

$$f(x - x_0, y - y_0) \Leftrightarrow F(u, v)e^{-i2\pi(u_0x/M + v_0y/N)}).$$

При  $u_0 = M/2$  и  $v_0 = N/2$  отсюда следует

$$e^{i2\pi(u_0x/M+v_0y/N)}) = e^{i\pi(x+y)} = (-1)^{x+y}$$

В этом случае выражение превращается в

$$f(x,y)(-1)^{x+y} \Leftrightarrow F(u-M/2,v-N/2)$$

и, аналогично,

$$f(x - M/2, y - N/2) \Leftrightarrow F(u, v)(-1)^{u+v}.$$

Данные выражения используют для центрирования фурье-преобразования. Последние две формулы относятся к случаю, когда переменные u и v принимают значения в диапазонах [0,M-1] и [0,N-1], соответственно. При компьютерной реализации эти переменные будут принимать значения от u=1 до M и от v=1 до N, при этом реальный центр фурье-преобразования будет находиться в точке  $u=M/2+1,\ v=N/2+1.$ 

Самый простой фильтр низких частот, который можно представить, - это фильтр, который обрезает все высокочастотные составляющие фурье-образа, находящиеся на большом расстоянии от начала координат (центрированного)

преобразования, чем заданное расстояние  $D_0$ . Такой фильтр называется двумерным (2D) идеальным низкочастотным фильтром (идеальным фильтром низких частот, ИФНЧ), и имеет передаточную функцию

$$H(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{при } D(u,v) \le D_0; \\ 0, & \text{при } D(u,v) > D_0, \end{cases}$$

где  $D_0$  - заданная неотрицательная величина, а D(u,v) обозначает расстояние от точки (u,v) до начала координат (центр частотного прямоугольника). Если рассматриваемое изображение имеет размер  $M \times N$ , то тот же размер имеет его фурье-образ. Следовательно центр частотного прямоугольника находится в точке (u,v)=(M/2,N/2), поскольку фурье-преобразование было центрировано. В таком случае расстояние от произвольной точки (u,v) до центра (начала координат) фурье-преобразования задается формулой

$$D(u,v) = [(u - M/2)^{2} + (v - N/2)^{2}]^{1/2}.$$

Однако в результате применения данного фильтра возникает так называемый звон, то есть появляются дополнительные контуры. Это связано с тем, что Фурье-образ такого фильтра описывается sinc-функцией, которая и порождает дополнительные колебания вокруг всех границ.

Передаточная функция низкочастотного фильтра Баттерворта (БФНЧ) порядка п с частотой среза на расстоянии  $D_0$  от начала координат задается формулой

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D(u,v)/D_0]^{2n}},$$

где расстояние D(u,v) задано формулой

$$D(u,v) = [(u - M/2)^{2} + (v - N/2)^{2}]^{1/2}.$$

В отличии от ИФНЧ, передаточная функция БФНЧ не имеет разрыва, который устанавливает точную границу между пропускаемыми и обрезаемыми частотами. Для фильтров с гладкой передаточной функцией обычной практикой является определение местоположения обрезающих частот как множества точек, в которых значения функции H(u,v) становятся меньше некоторой части ее максимального значения. В случае функции Баттерворта при H(u,v)=0,5 (меньше 50% максимального значения, равного 1) при  $D(u,v)=D_0$ .

Передаточная функция гауссова фильтра низких частот для двумерного случая имеет вид:

$$H(u, v) = e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2},$$

где D(u,v) - расстояние от начала координат фурье-образа, который мы считаем сдвинутым в центр частотного прямоугольника с помощью описанной ранее процедуры. Как и раньше,  $\sigma$  задает ширину гауссовой кривой. Обозначив  $\sigma = D_0$ , перепишем выражение для фильтра в более привычном виде

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2},$$

где  $D_0$  - частота среза. Когда  $D(u,v)=D_0$ , значение передаточной функции фильтра падает до 0,607 от своего максимального значения.

Обратное фурье-преобразование от гауссовой функции снова есть гауссова функция. Это свойство означает, что пространственный гауссов фильтр, полученный применением обратного преобразования Фурье будет положительным и не будет иметь концентрических колец (звон будет отсутствовать).

Пятая глава посвящена численным экспериментам. В данной работе представлены:

- Линейный усредняющий фильтр (пространственный);
- Медианный фильтр (основанный на порядковых статистиках);
- Идеальный фильтр низких частот;
- Фильтр низких частот Баттерворта;
- Гауссовы фильтры низких частот.

В приложении работы находятся коды данных фильтров на языке  $C\sharp$ .

#### Заключение

В данной работе были проанализированы различные шумоподавляющие фильтры. В зависимости от вида шума, присутствующего на изображении, применяются соответственно различные методики его подавления. Известно достаточно много методов фильтрации шумов. Их многообразие определяется различными факторами появления шумов и помех. В данной работе были рассмотрены пять фильтров - линейный, медианный, идеальный фильтр низких частот, фильтр Баттерворта, Гауссов фильтр. Действительно, ни один из них не универсален, имеются недостатки.

На основании полученных в ходе экспериментов данных можно сделать следующие выводы. Линейные и медианные фильтры подходят для фильтрации белого гауссовского шума. При среднеарифметическом линейном фильтре наблюдается избыточное размытие мелких деталей на изображениях, когда их размер совпадает с размером маски фильтра. Поэтому могут сгладиться и объекты, представляющие важность. Однородные усредняющие фильтры не подходят для частного случая импульсивных шумов - шума "соль и перец".

Медианная фильтрация способна эффективно справляться с помехами в более общем случае, когда шумы независимо воздействуют на отдельные пиксели. Например, такими шумами является шумы "соль и перец"при цифровой съемке. Преимущество медианной фильтрации перед линейной сглаживающей фильтрацией заключается в том, что зашумленный пиксель белого цвета на темном фоне будет заменен на темный, а не разглажен по окрестным пикселям белым цветом.

При использовании идеального фильтра низких частот возникают нежелательные эффекты, такие как эффекты размывания и появления ложных контуров, при этом при уменьшении ширины используемого фильтра в частотной области эффекты размытия изображений усиливаются.

В отличие от идеального низкочастотного фильтра передаточная функция низкочастотного фильтра Баттерворта не имеет разрыва, который устанавливает точную границу между пропускаемыми и обрезаемыми частотами. К преимуществам низкочастотных фильтров Баттерворта относится намного меньшее проявление нежелательных эффектов размытия и появления ложных контуров по сравнению с идеальными низкочастотными фильтрами. С увеличением порядка низкочастотного фильтра Баттерворта возрастает проявление эффектов размытия.

Применение низкочастотного гауссова фильтра обеспечивает зачастую меньшее сглаживание при одинаковой частоте среза по сравнению с фильтрами Бат-

терворта, поэтому в тех случаях, когда требуется жесткий контроль переходной зоны от низких частот к высоким частотам, фильтры Баттерворта представляются более подходящим выбором.



Рис. 1. Зашумленное изображение



Рис. 3. Исходное изображение



Рис. 2. Линейный фильтр c маской размером n=5

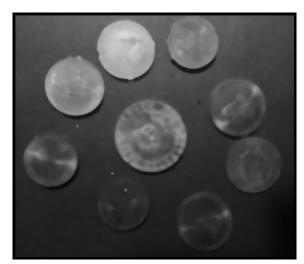


Рис. 4.  $Me \partial u$ анный фильтр с маской размером n=3

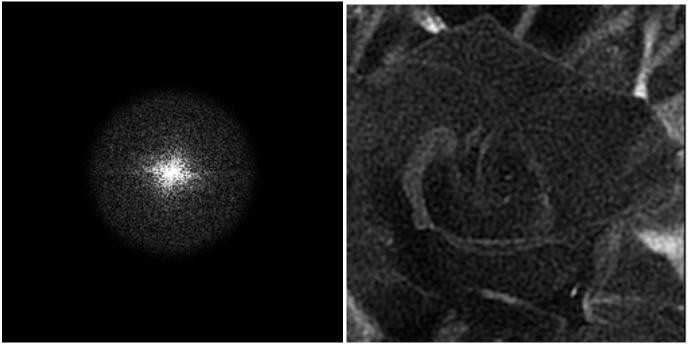


Рис. 5. БФНЧ с частотой среза 60

Рис. 6. Результат БФНЧ с частотой среза 60

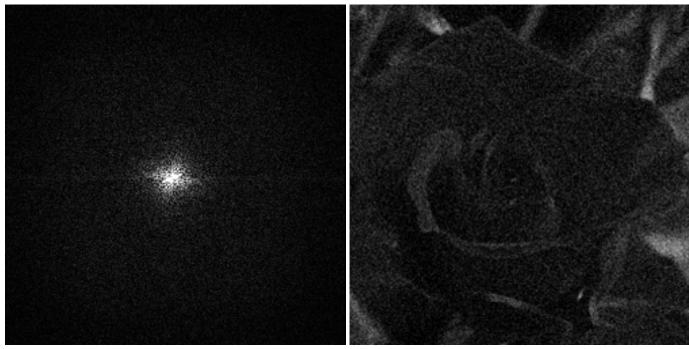


Рис. 7.  $\Gamma \Phi H \mathcal{A}$  с частотой среза 60

Рис. 8. Результат ГФНЧ с частотой среза 60