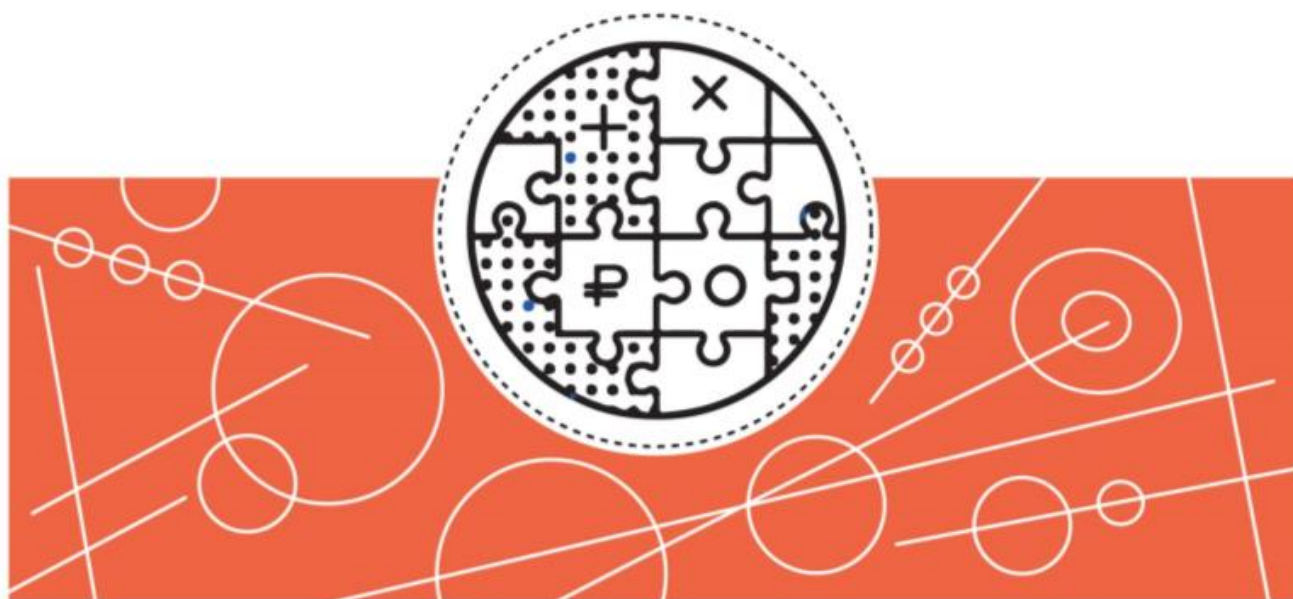


# ІТМО

---

**А.В. МАЯТИН, Л.С. РОДИКОВА**

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА  
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**



**Санкт-Петербург  
2026**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**А.В. Маятин, Л.С. Родикова**  
**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА**  
**ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**  
**В КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ.**  
**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлению подготовки 09.03.02 Информационные системы и  
технологии  
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных  
профессиональных образовательных программ высшего образования  
бакалавриата

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2026

Маятин А.В., Родикова Л.С., Методы обработки и анализа цифровых изображений в компьютерном зрении. Лабораторный практикум– СПб: Университет ИТМО, 2026. – 52 с.

Рецензент(ы):

Мараев Антон Андреевич, кандидат технических наук, преподаватель (квалификационная категория "преподаватель") института "Высшая инженерно-техническая школа", Университета ИТМО.

Пособие направлено на изучение методов обработки цифровых изображений и их анализа, приобретение навыков применения этих методов посредством процесса поэтапной обработки изображений. В практикуме приведены 7 лабораторных работ направленных на изучение основных методов предобработки и анализа цифровых изображений.

**ИТМО**

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: ИТ и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализовывается программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере ИТ. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2026

© Маятин А.В., Родикова Л.С., 2026

## Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1 Основы цифровой обработки изображений: визуализация, бинаризация, построение гистограмм, профилей и проекций .....	7
Лабораторная работа № 2 Геометрические преобразования изображения .....	13
Лабораторная работа № 3 Яркостные преобразования.....	18
Лабораторная работа № 4 Высокочастотная и низкочастотная фильтрация изображения.....	25
Лабораторная работа № 5 Генерация шумов на изображении.....	30
Лабораторная работа № 6 Сегментации объектов на изображении .....	35
Лабораторная работа №7 Сопоставление двух изображений .....	44
Список литературы .....	52

## Введение

Методическое пособие «Методы обработки и анализа изображений в компьютерном зрении» направлено на формирование у обучающихся целостного представления об основных подходах к работе с цифровыми изображениями. Оно сочетает краткую теоретическую базу и лабораторный практикум, позволяя изучить ключевые методы обработки в компьютерном зрении и приобрести навыки их применения на практике с использованием среды MATLAB.

В современном мире технологии обработки и анализа изображений сохраняют большую значимость. Они лежат в основе множества решений, таких как системы видеонаблюдения, биометрической идентификации, анализа спутниковых снимков, неразрушающей диагностики, обнаружения и детектирования, анализа геоданных и диагностики труднодоступных мест. Настоящее пособие поможет освоить базовые методы предобработки и анализа изображений, научиться подбирать алгоритмы для конкретных задач, критически оценивать эффективность различных подходов и обоснованно выбирать решения для прикладных задач.

Структура пособия учитывает разные этапы цикла работы над изображениями: от начальной предобработки и подготовки данных до анализа объектов. В нём выделяются три ключевых уровня обработки:

- Операции предобработки. На этом этапе выполняются действия по улучшению информативности исходного изображения – геометрическая, яркостная коррекция; устранение шумов, посторонних объектов.
- Средний уровень обработки (распознавание и анализ). Здесь осуществляется структурное редактирование изображений (сегментация, маркировка), детектирование и распознавание объектов.
- На финальном этапе выполняются калькуляция измерительных параметров, анализ движения и отслеживание объектов, сравнение и сопоставление изображений, автоматический поиск и отбор данных.

Практическая часть пособия построена на выполнении заданий, близких к реальным задачам. Обучающиеся разрабатывают собственные алгоритмы, анализируют эффективность различных методов и их комбинаций, оценивают преимущества и недостатки решений, определяют возможности их масштабирования.

Результаты оформляются в виде программного кода, отчета с анализом и краткого представления полученного результата. Предусмотрена возможность выполнения дополнительных заданий для получения бонусных баллов.

Учебное пособие предназначено для использования на элективной дисциплине «Компьютерное зрение» для студентов по направлению подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии в качестве учебно-методического пособия для реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования бакалавриата.

Учебно-методическая характеристика учебного пособия.

Учебное пособие предназначено для обучающихся дисциплины «Компьютерное зрение».

Требования к результатам обучения (ЗУН):

- Знание: применения различных методов анализа изображений, подходов к решению типовых задач компьютерного зрения, взаимосвязи между этапами получения, предобработки и анализа изображений.
- Умение: осуществлять предобработку изображений, осуществлять анализ и фильтрацию изображений, подбирать параметры при обработке изображений, определять методы обработки изображений для поставленной задачи.
- Навык: работы в Matlab, компьютерного моделирования генерации шумовой составляющей изображений, реализации методов яркостных преобразований изображений, реализации методов геометрических преобразований изображений, реализации методов высокочастотной и низкочастотной фильтрации изображений, реализации методов сегментации изображений, реализации методов сопоставления и сшивки изображений

Формируемые компетенции обучающихся после прохождения дисциплины.

Обучающийся способен охарактеризовать область применения различных методов анализа изображений, объяснить взаимосвязь между этапами получения, предобработки и анализа изображений. Понимает, как выбор метода и параметров преобразования влияет на результат обработки.

Способен анализировать эффективность применения различных методов по количественным метрикам, визуальным характеристиками и с использованием простейших элементов анализа и на основе полученного анализа подобрать наиболее подходящие методы обработки изображений для решения поставленной задачи.

Методические рекомендации по применению пособия «Методы обработки и анализа изображений в компьютерном зрении» для преподавателей.

При организации учебного процесса с использованием данного пособия рекомендуется распределить семь лабораторных работ равномерно на весь семестр, принимая во внимание сложность рассматриваемых тем и уровень подготовки студентов.

В начале курса целесообразно провести вводный инструктаж по работе с MATLAB и пакетом Image Processing. Перед каждой лабораторной работой рекомендуется проводить краткий теоретический разбор по теме лабораторной работы или встраивать лабораторные работы в учебный курс так, чтобы реализация очередной лабораторной работы шла сразу после лекции с подобным разбором теоретических сведений по теме этой работы.

Во время лекций важно уделить время разбору реальных кейсов с применением методов обработки из лабораторной работы. Это поможет студентам увидеть связь между теоретическими знаниями и их реальным использованием.

Методические рекомендации по применению пособия «Методы обработки и анализа изображений в компьютерном зрении» для обучающихся.

Перед началом работы с пособием рекомендуется изучить теоретические сведения по теме конкретной лабораторной работы. Выполнение лабораторных работ следует выстраивать поэтапно. Результаты работы важно качественно проанализировать с использованием разных метрик и подходов, далее подробно и грамотно оформить и представить в отчете.

Рекомендуется указывать в отчете подробные комментарии к реализуемым ключевым блокам программного кода и фиксировать промежуточные результаты обработки изображения, а также описание данных исходного изображения, анализ эффективности выбранных методов с обоснованием этого выбора.

В процессе работы студенты могут столкнуться с рядом ошибок, типичной из которых бывает потеря деталей во время сегментации. В данном случае рекомендуется настроить пороги бинаризации и уделить больше внимания предобработке изображения, например, морфологическим операциям или высокочастотной фильтрации. Если распознавание объектов выполняется некорректно, следует проверить параметры детектора или добавить дополнительные этапы предобработки.

Для углубленного изучения темы рекомендуется протестировать больше различных комбинаций представленных в лабораторной работе методов, а также попробовать реализовать алгоритмы «вручную» без использования готовых функций Image Processing.

Выполнение дополнительных заданий, представленных в большей части лабораторных работ, даст возможность получить дополнительные баллы при корректном и осознанном выполнении и углубить навыки работы с изображениями.

## **Лабораторная работа № 1**

### **Основы цифровой обработки изображений: визуализация, бинаризация, построение гистограмм, профилей и проекций**

#### **Цель работы**

Освоить операции считывания цифровых изображений для различных представлений цветности в среде MATLAB, познакомиться с основными свойствами изображения (яркость, контраст) и их использованием для анализа изображений. Приобрести навыки преобразования простых инструментов анализа: построение гистограмм, профилей и проекций.

---

#### **Теоретические сведения к лабораторной работе**

Лабораторная работа нацелена на освоение базовых одномерных инструментов анализа изображений. Эти инструменты позволяют преобразовать двумерные данные в более простые структуры, пригодные для последующего исследования, и служат основой первичного анализа изображений, а также подготовки данных к дальнейшей обработке. Ниже представлены **основные инструменты одномерного анализа и их определение.**

**Гистограмма** – распределение частоты пикселей конкретной яркости на изображении. Кратко ее можно определить как плотность распределения вероятностей яркости. Анализ гистограммы помогает оценить изменение яркостных характеристик на изображении, например, контрастность. У низкоконтрастных изображений яркости частот сосредоточены в узкой области в середине диапазона, у высококонтрастных — частоты распределены по всему диапазону значений яркостей, с преобладающими частотами по краям этого диапазона. При этом характеристика контраста характеризуется как разность между минимальным и максимальным значениями интенсивности пикселей на изображении.

**Профиль вдоль линии** — распределение интенсивностей пикселей вдоль определенной строки изображения. Инструмент позволяет оценить изменение и перепады интенсивности в конкретном сечении изображения, может использоваться для анализа изменения освещенности на поверхности объекта или детектировать границы объекта на изображении.

**Проекция на ось** — сумма интенсивностей пикселей в конкретном направлении по строкам (вертикальная проекция) или в направлении по столбцам (горизонтальная проекция). Проекция по вертикали показывает, насколько насыщен деталями каждый столбец изображения (или строка), а также, как и

предыдущий инструмент, позволяет детектировать границы объекта в случае, если объект расположен ортогонально или для него характерна симметрия.

Перед началом анализа изображения необходимо также оценить формат, в котором представлено это изображение. При выборе формата необходимо руководствоваться требованиями к разрешению изображения, размеру файла, скорости дальнейшей обработки.

В общем случае все существующие форматы изображений классифицируются на два большие подкласса – растровый и векторный.

Векторные форматы описывают изображение через математические формы (линии, кривые, фигуры). Чаще всего используется для хранения и представления файлов с логотипами, схемами и чертежами. Ключевой особенностью данного подкласса является масштабируемость без потери качества.

К растровым форматам относятся форматы: JPEG, PNG, BMP, TIFF. Данный подкласс форматов хранит изображение в виде сетки пикселей. В данном методическом пособии будет рассматриваться только работа с растровыми изображениями. Ниже приведены основные особенности растровых форматов изображений.

Таблица 1 – Основные особенности форматов изображений

JPEG	Формат использует сжатие с потерями, что придает ему преимущество в быстрой передаче большого количества изображений, однако является недопустимым в случаях, когда небольшая потеря информации и качества является критичной.
PNG	Формат поддерживает прозрачность и сжатие без потерь, благодаря чему получил широкое применение в графике и изображениях с представлением текста.
BMP	Формат не использует сжатие, поэтому требует большого количества памяти для хранения файлов и затрудняет передачу файлов, так как это занимает слишком много времени при передаче большого количества данных.
TIFF	Формат поддерживает высокое качество цифрового изображения и его многослойность. Часто используется в профессиональной графике и сканировании.

Помимо яркостных характеристик изображения, информативными и ценными для анализа являются параметры цветности изображения. Данная характеристика связана с понятием глубины цвета (количество бит на пиксель), определяющим число отображаемых цветов. В случае, когда изображение представляет собой матрицу, состоящую из интенсивностей пикселей без характеристик цвета, глубина изображения составляет 8 бит (256 цветов); в случае использования стандартной трехканальной модели хранения цветов RGB

глубина цвета 24 бита (16,7 млн цветов). Для представления изображения не только в стандартных каналах цветности, но и с использованием альфа-канала (прозрачность) глубина цвета 32 бита.

Основные цветовые модели:

RGB (Red, Green, Blue) — трехслойная модель представления цветов, в которой каждый канал кодируется 0–255; при этом белый цвет соответствует максимальной интенсивности по всем каналам (255,255,255), а чёрный соответственно минимальной интенсивности (0,0,0).

СМΥК (Cyan, Magenta, Yellow, Key/Black) — модель, используемая для печати, которая учитывает поглощение света, что критично для точного отображения цветов на печатной бумаге.

HSV/HSB (Hue, Saturation, Value/Brightness) — модель, основанная на восприятии цвета человеком, в которой Hue (тон) задаётся в градусах (0 -360), Saturation (насыщенность) и Value/Brightness (яркость) задаются в процентах.

Lab — это цветовая модель, которая характеризуется тремя параметрами. Первый — яркость (L), варьируется от 0 до 255, и две хроматические компоненты: параметр a, который изменяется от красного до зелёного, от -128 до 127) и параметр b, который изменяется от жёлтого до голубого, от -128 до 127.

## Порядок выполнения лабораторной работы

### Часть 1. Основы работы с цифровым изображением.

1. Необходимо выбрать два цифровых изображения с разрешением не более 1000×1000 пикселей. Одно из изображений должно быть в формате \*.jpg, другое в формате \*.bmp. Выбранные изображения должны отличаться по цветовой палитре и семантическому содержанию.

2. Загрузите выбранные изображения в MATLAB с использованием функции *imread*. С помощью функции *imfinfo* зафиксируйте характеристики каждого файла: размер, глубина цвета, цветовая модель.

3. Используйте функции *imshow* и *subplot* для вывода исходных изображений в отдельных графических окнах MATLAB.

4. Проведите сравнительный анализ выбранных изображений по степени сжатия и релевантности задачам обработки. Выберите оптимальный формат для преобразований. Обоснуйте ваш выбор в письменном отчете, отобразив преимущества выбранного формата для поставленной задачи.

5. Выбранное изображение необходимо привести в трех вариантах: а) в виде цветного изображения (RGB-модель); б) в градациях серого (*Grayscale*, преобразование выполните с помощью функции *rgb2gray*); в) по трем цветовым каналам (R, G, B) отдельно (извлеките каждый канал как отдельную матрицу интенсивностей).

6. В отдельном окне выведите изображение и каждый из его каналов цветности в виде четырех секций (используйте функцию *subplot*). В каждой из секций разместите изображение соответствующего типа, а также подпись с указанием формата и способа представления (например, «Цветное RGB», «Канал R», «Grayscale»). Пример (рис.1):

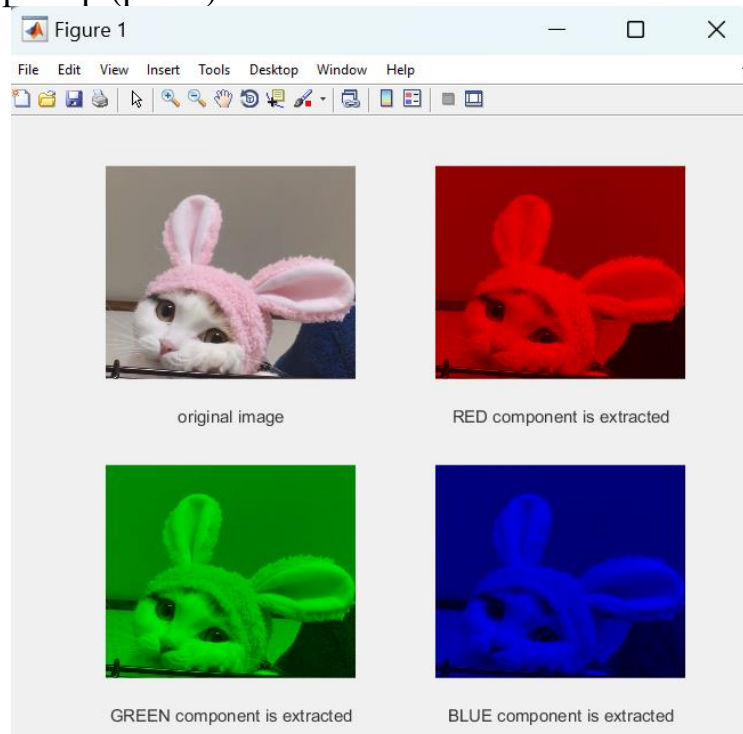


Рисунок 1 – Иллюстрация совместного отображения изображений в едином окне в MatLab

7. Выполните преобразование исходного цветного изображения в Grayscale путем выравнивания интенсивности по цветовым каналам. Вручную вычислите среднее арифметическое от значений каждого канала R, G, B по каждому пикселю и сравните полученный результат с выходными данными функции *rgb2gray*. Сопоставьте изображения, выявите различия и сформулируйте их причины.

8. Преобразуйте изображение, представленное в градациях серого, в бинарный формат с использованием трех различных порогов бинаризации:

- 25% от максимального значения интенсивности;
- 50% от максимального значения интенсивности;
- 75% от максимального значения интенсивности.

Для бинаризации используйте функцию *imbinarize* или реализуйте алгоритм самостоятельно через пороговую обработку матрицы интенсивностей.

9. Разместите получившиеся бинарные изображения в одном окне, указав значение порога интенсивности.

## Часть 2. Анализ изображений: гистограммы, профили и проекции

1. Исследуйте распределение яркости изображения через построение и анализ гистограммы.

Для построения и анализа гистограмм выберите произвольное слабоконтрастное изображение (можно использовать одно из ранее загруженных). Использование функции *imhist* и *histogram* поможет построить гистограмму распределения яркости пикселей изображения. После применения функций разместите исходное изображение рядом с гистограммой для наглядного сравнения визуальных характеристик и распределения яркости, для упрощенного отображения необходимо использовать функцию *subplot*.

После построения гистограммы проанализируйте ее форму. Укажите, какие диапазоны яркости преобладают, есть ли выраженные пики или провалы, как это соотносится с визуальной оценкой контраста.

2. Исследуйте пространственные характеристики изображения через построение и интерпретацию проекций.

Выберите изображение, содержащее монотонные области и выделяющиеся объекты (например, фигура или узор на однотонном фоне). Постройте проекции изображения на вертикальную и горизонтальную оси, для этого суммируйте интенсивности пикселей вдоль соответствующих направлений с помощью функций *sum* и транспонирования матрицы.

Обязательно проанализируйте проекции и определите границы областей объектов, например, координаты начала и конца объекта по осям, для этого используйте алгоритмы поиска локальных максимумов или пороговой обработки проекций.

Визуализируйте исходное изображение с нанесенными границами и графики проекций в едином окне, используя *subplot*. Для нанесения границ областей на исходное изображение используйте функции *line* или *rectangle*.

3. Исследуйте изменения яркости изображения через построение и анализ профилей интенсивности.

Подберите изображение с периодической структурой, например, увеличенное изображение строк текста, штрих-кода или узора. Задайте горизонтальную линию и постройте вдоль неё профиль интенсивности.

Применив функцию *improfile*, отобразите график изменения интенсивности в зависимости от координаты или реализуйте алгоритм через индексацию матрицы изображения. Для проведения сравнительного анализа выведите в одно окно исходное изображение с выделенной линией профиля и график профиля, добавив их с помощью *subplot*.

### Дополнительное задание (необязательное):

Выполните выравнивание гистограммы (эквализацию) для выбранного изображения двумя различными способами:

- a) с использованием яркостных преобразований (линейное растяжение, гамма-коррекция);
- b) с применением встроенных функций эквализации в MATLAB (необходимо использовать не менее трех встроенных функций экранизации).
- c) отобразите исходную и обработанные гистограммы в одном окне  
Сравните результаты:
  - по количественным показателям (рассчитайте и сравните значения контраста, отклонения от среднего уровня яркости);
  - по визуальным характеристикам изображений (контраст, детализация, естественность цветопередачи).

В отчете опишите математические модели, лежащие в основе каждого метода, и различия в полученных результатах (приведите таблицы и графики).

---

#### Требования к отчету

Отчёт о лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы;
3. Ход выполнения работы:
  - листинги программных реализаций;
  - скриншоты промежуточных и итоговых результатов (изображения, графики, гистограммы) с подписями и нумерацией;
  - для удобства сдачи допускается включать краткое описание теоретической базы к советующим пунктам выполнения работы;
  - таблицы с характеристиками изображения;
  - анализ полученных данных с выводами по каждому этапу работы;
4. Выводы по работе

Формат отчета: PDF-файл, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Лабораторная работа № 2 Геометрические преобразования изображения

### Цель работы

Освоить методы геометрических преобразований цифровых изображений в среде MATLAB: изучить алгоритмы зеркального отражения, сдвига, масштабирования, скоса и поворота. Приобрести навыки геометрической коррекции изображений с использованием как матриц аффинных преобразований, так и альтернативных методов; проанализировать влияние параметров преобразований на характеристики изображения.

---

### Теоретические сведения к лабораторной работе

**Аффинные преобразования** составляют базовый класс геометрических операций. Ключевое преимущество их описания — возможность представить любое геометрическое преобразование в виде матричного умножения. Математически это выражается формулой

$$X' = TX,$$

где  $X$  — матрица исходных координат точек изображения,  $T$  — матрица преобразования размером  $3 \times 3$ ,  $X'$  — матрица преобразованных координат изображения.

Универсальный вид матричных преобразований можно представить как

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}.$$

Такой подход создает унифицированный механизм работы с матрицами для выражения преобразований точек.

### Линейные преобразования

Для корректного применения простейших матричных операций в задачах линейных преобразований, таких как отображение масштабирования, поворот, сдвиг и наклон, используются однородные координаты. Точка с декартовыми координатами  $(x, y)$  в однородных координатах записывается как  $(x, y, 1)$ . Важное свойство однородных координат состоит в том, что определяемый ими объект не меняется при умножении всех координат на одно и то же ненулевое число.

В однородных координатах вид матричных преобразований можно представить как

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, вид матрицы аффинных преобразований для каждого из простейших линейных операций представляется как

Тождественное преобразование	Масштабирование	Поворот	Сдвиг	Скос
$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a & b & 0 \\ d & e & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & c \\ 0 & 1 & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & b & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

*При реализации геометрического преобразования «Поворот» коэффициенты следует задавать углами:  $a = \cos\alpha$ ,  $b = \sin\alpha$ ,  $d = -\sin\alpha$ ,  $e = \cos\alpha$ .*

**Проективные преобразования** представляют собой более сложный тип преобразований, и, в отличие от простейших линейных, они не сохраняют параллельность прямых.

В виде матрицы при проективных преобразованиях можно представить как

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}.$$

### Нелинейные преобразования

Из названия очевидно, что линейность при таких преобразованиях не сохраняется. Для задания данного типа преобразований используется полиномиальное представление изменения координат точек, в котором степень преобразования будет зависеть как от порядка полинома, так и от коэффициентов каждого полинома.

В виде матрицы при проективных преобразованиях можно представить как:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица преобразований содержит коэффициенты полиномов соответствующих порядков для преобразования координат пикселя изображения.

Наиболее часто нелинейные преобразования используются для коррекции искажений, вносимых широкоугольными объективами – дисторсии.

На практике коррекцию дисторсии часто исправляют по опорным точкам. Для этого используют изображение регулярной сетки и его искаженный вариант:

находят пары соответствующих точек на обоих изображениях и вычисляют коэффициенты преобразования.

---

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выберите цифровое изображение с разрешением не более  $800 \times 800$  пикселей в формате \*.jpg или \*.bmp. Считайте изображение в MATLAB с помощью функции *imread*. Зафиксируйте данные файла (размер, глубина цвета, цветовая модель) с помощью функции *imfinfo*.

2. Отобразите исходное изображение в отдельном графическом окне MATLAB с помощью функции *imshow*. Добавьте заголовок окна с указанием имени файла, формата и разрешения изображения.

3. Выполните зеркальное отражение цветного изображения относительно горизонтальной оси. Реализуйте преобразование минимум двумя способами:

- с использованием встроенной функции MATLAB *flipud*;
- через построение и применение матрицы аффинных преобразований в однородных координатах.

Сохраните результат каждого метода в отчет.

4. Отобразите исходное изображение и результаты зеркального отражения в едином окне с помощью функции *subplot*, разделив его на секции. В каждой секции укажите метод преобразования, например, «Встроенная функция *flipud*», «Матрица аффинных преобразований». Проанализируйте визуальное сходство результатов и вычислите время выполнения каждого метода.

5. Аналогично п. 3 выполните зеркальное отражение относительно вертикальной оси минимум двумя способами:

- с применением встроенных функций MATLAB (например, *fliplr*);
- через матрицу аффинных преобразований.

6. В едином окне отобразите исходное изображение и результаты преобразования. Проведите сравнение визуальных и количественных характеристик.

7. Сдвиг изображения по двум осям. Для этого необходимо задать коэффициенты смещения по осям  $x$  и  $y$  в виде параметров. Выполните сдвиг изображения минимум двумя способами:

- используя функцию *imtranslate* или аналогичную;
- через построение и применение матрицы аффинного преобразования в однородных координатах.

8. Исходное изображение и результаты преобразования разместите в едином окне. Сравните визуальные и количественные характеристики.

9. Масштабирование изображения

Выполните масштабирование цветного изображения с заданными коэффициентами  $a$  (по оси  $x$ ) и  $b$  (по оси  $y$ ) в четырех конфигурациях:

- $a < 1$  и  $b < 1$ , при этом  $a = b$  (равномерное уменьшение);
- $a > 1$  и  $b > 1$ , при этом  $a = b$  (равномерное увеличение);
- $a < 1$  и  $b < 1$ , при этом  $a \neq b$  (неравномерное уменьшение);
- $a < 1$  и  $b < 1$ , при этом  $a \neq b$  (неравномерное увеличение).

Реализуйте масштабирование минимум двумя способами:

- с помощью функции *imresize*;
- через матрицу аффинного преобразования.

10. Отобразите все четыре масштабированных изображения в едином окне с подписями, указывающими параметры масштабирования. Проанализируйте влияние коэффициентов на детализацию /размытие и эффект интерполяции. Отобразите выводы о преимуществах и недостатках каждого подхода в отчете.

11. Для скоса изображения по двум осям задайте коэффициенты скоса в качестве параметров. Реализуйте скос минимум двумя способами:

- с использованием функции *imwarp* и матрицы преобразования;
- через прямое построение матрицы аффинного преобразования скоса.

12. Отобразите исходное и преобразованное изображения в одном окне. Оцените искажения геометрии объектов, сохранение параллельности линий. Сделайте выводы о преимуществах и недостатках каждого подхода.

13. Выполните поворот изображения вокруг начала координат с использованием матрицы аффинного поворота. Угол поворота необходимо задавать в градусах.

14. Отобразите исходное и преобразованное изображения в одном окне.

15. Реализуйте поворот вокруг центра изображения минимум двумя способами:

- через последовательное преобразование: сдвиг центра изображения в начало координат, затем поворот, обратный сдвиг;
- с использованием функции *imrotate* или *imwarp*.

Угол поворота также необходимо представить в градусах.

16. Оцените искажения геометрии объектов, проанализируйте достоинства каждого из реализованных способов поворота.

---

### Требования к отчету

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы;

3. Ход выполнения работы:

- листинги программных реализаций;
- скриншоты промежуточных и итоговых результатов (изображения, графики, гистограммы) с подписями и нумерацией;
- для удобства сдачи допускается включать краткое описание теоретической базы к советуемым пунктам выполнения работы;
- таблицы с характеристиками изображения;
- анализ полученных данных с выводами по каждому этапу работы;

4. Выводы по работе

Формат отчета: PDF-файл, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Лабораторная работа № 3 Яркостные преобразования

### Цель работы

Получить основные навыки работы с поэлементными методами обработки цифровых изображений, освоить алгоритмы яркостных преобразований (срез, контрастирование, соляризация, гамма-коррекция). Научиться анализировать изменения характеристик яркости по гистограммам и оценивать эффективность методов улучшения визуального качества и информативности изображений.

---

### Теоретические сведения к лабораторной работе

**Яркостные преобразования** представляют собой поэлементные операции, при которых идет преобразование каждого значения яркости пикселя, которое определяется исходя из его исходного значения через функцию преобразования.

Ключевое свойство таких преобразований — их проблемно-ориентированный характер: выбор метода зависит от конкретной задачи анализа.

К линейным преобразованиям яркости относятся бинаризация, линейное контрастирование, пилообразное контрастирование, яркостной срез.

Бинаризация представляет собой преобразование изображения в две бинарные градации яркости, черный (0) и белый (1/255), по заданному порогу.

Линейное контрастирование представляет собой растяжение или сжатие диапазона яркостей  $a;b$  на весь диапазон представления яркостей  $[y_{max}; y_{min}]$ , математически это можно представить как

$$y = \frac{x - a}{b - a} (y_{max} - y_{min}) + y_{min}$$

Пилообразное контрастирование представляет собой создание периодических перепадов яркости для выделения локальных особенностей. В рамках данной лабораторной работы студентам необходимо количество периодов пилообразной функции задать параметром.

Яркостной срез представляет собой выделение диапазона яркостей для анализа. Данное преобразование позволяет фокусироваться на информативных участках динамического диапазона (рис.2).

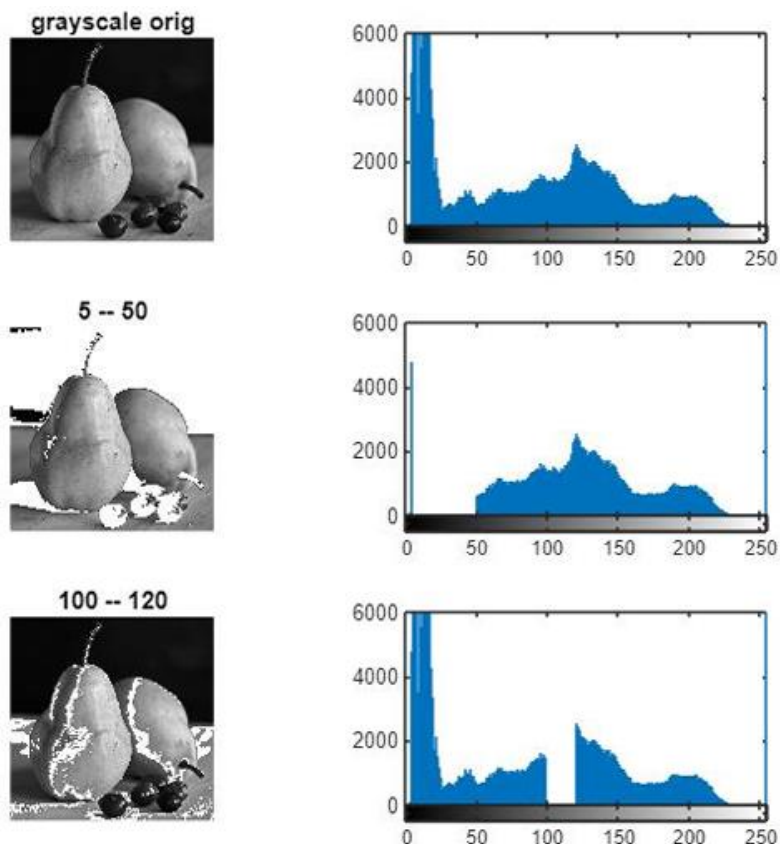


Рисунок 2 – Пример реализации яркостного среза и результирующих гистограмм на примере контрастного изображения

**Кусочно-линейные функции** — более гибкий инструмент, где форма преобразования может быть адаптирована под специфику изображения (например, усиление контраста в темных областях при сохранении светлых). Реализуется на основании гистограммы исходного изображения и задается уникальной функцией преобразования для каждого выбранного диапазона. При этом количество диапазонов и их размер выбирается оператором на основании распределения интенсивностей на гистограмме (рис.3).

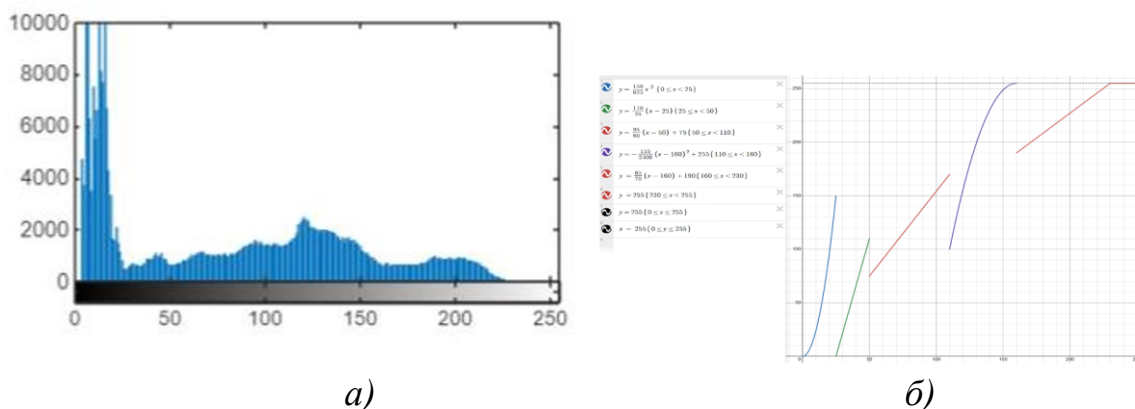


Рисунок 3 – Пример гистограммы исходного изображения (а) и найденная на основании этой гистограммы кусочно-линейная функция

**Нелинейные преобразования** учитывают особенности человеческого восприятия. Наиболее известным представителем данного типа преобразований является гамма-коррекция. Данный вид преобразования корректирует яркость с учетом нелинейной чувствительности глаза, который воспринимает каналы цветности с разными коэффициентами чувствительности:

$$L = R \cdot 0,299 + G \cdot 0,587 + B \cdot 0,144.$$

Преобразование влияет не только на общую яркость, но и на цветовые соотношения (R, G, B). Формулу гамма-коррекции можно представить в виде степенной функции:

$$y = 255 \cdot \left(\frac{x}{255}\right)^{\gamma},$$

где  $\gamma$  — параметр коррекции.

Одним из типов преобразований гистограммы, с которыми вам предстоит познакомиться в данной лабораторной работе, является эквализация (выравнивание) гистограммы. Эквализация направлена на максимизацию информативности изображения путем приближения распределения яркостей к равномерному закону, что повышает контрастность и детализацию слабо освещённых участков.

Освоение этих методов позволяет эффективно подготавливать изображения к анализу, например, улучшение видимости дефектов на промышленных снимках, выделение объектов на медицинских сканах, или повышать читаемость текста на отсканированных документах. При выборе конкретного преобразования необходимо опираться на анализ гистограммы, оценку исходного контраста и постановку задачи.

---

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подберите два цифровых изображения с разными контрастными характеристиками (например, одно высококонтрастное, второе слабоконтрастное), разрешением не более  $800 \times 800$  пикселей в формате \*.jpg или \*.bmp. Считайте изображения в MATLAB с помощью функции *imread*. Запишите данные файлов, размер, глубину цвета с помощью функции *imfinfo*.

2. Отобразите каждое исходное цветное изображение в отдельном графическом окне MATLAB с помощью функции *imshow*, выведя заголовок с указанием имени файла, формата и разрешения.

3. Каждое цветное изображение переведите в формат grayscale с помощью функции *rgb2gray*. Отобразите пары цветное изображение и его grayscale-форму в едином окне (используйте функцию *subplot*).

4. Постройте гистограммы распределения яркости grayscale изображения с помощью функции *imhist* или *histogram*. Проанализируйте форму гистограмм, отметьте диапазоны преобладающих яркостей, наличие пиков и провалов, оцените общий контраст изображения.

5. Выполните поочередно три типа яркостного среза для цветных изображений, при этом для реализации каждого типа среза необходимо использовать единую функцию с разными параметрами преобразования в указанных диапазонах. Три типа яркостных срезов необходимо описать для следующих случаев (рис.4):

1 Тип – срез по узкому диапазону яркостей с затемнением соседних областей (диапазонов) – см. рис.4-1;

2 Тип – срез по узкому диапазону яркостей с тождественным отображением соседних областей– см. рис. 4-2;

3 Тип – срез по верхнему диапазону яркостей (светлые области) с тождественным отображением нижнего диапазона – см. рис. 4- 3.

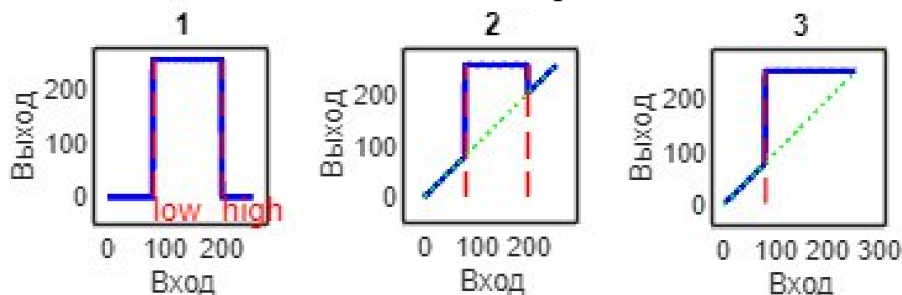


Рисунок 4 – Графики преобразований трех типов яркостных срезов

Используйте функцию, которая принимает на вход изображение и параметры среза (нижний и верхний пороги), возвращает преобразованное изображение.

6. Отобразите все три результата яркостного среза в едином окне с подписями, указывающими тип среза и пороги. Проведите сравнительный анализ визуального выделения областей для разных типов.

7. Для каждого получившегося яркостного среза постройте гистограмму grayscale-версии. Отобразите пары «преобразованное изображение — гистограмма» в едином окне. Проанализируйте, как срез влияет на распределение яркостей: какие диапазоны подавляются, какие усиливаются.

8. Выполните линейное контрастирование к цветным изображениям и их grayscale-версиям, используя два способа:

- через функцию *imadjust* для растяжения динамического диапазона;
- через ручное задание коэффициентов усиления и смещения (линейное преобразование), формулой:  $y = ax + b$ .

9. Отобразите исходные и контрастированные изображения в едином окне. Проанализируйте изменение контраста, оцените, повысилась ли узнаваемость деталей в темных и светлых областях.

10. Постройте и отобразите гистограмму grayscale-версии контрастированного изображения рядом с исходным изображением. Сравните с исходной гистограммой: отметьте эффективность расширения диапазона яркостей и выравнивание распределения.

11. Выполните пилообразное контрастирование для цветных изображений и их grayscale-версий, реализуя два типа преобразования: а) стандартная пилообразная функция; б) параметризованная пилообразная функция с количеством периодов, которое необходимо задать параметром (рис.5). Для второго типа необходимо вывести формулу преобразования и представить ее в отчете.

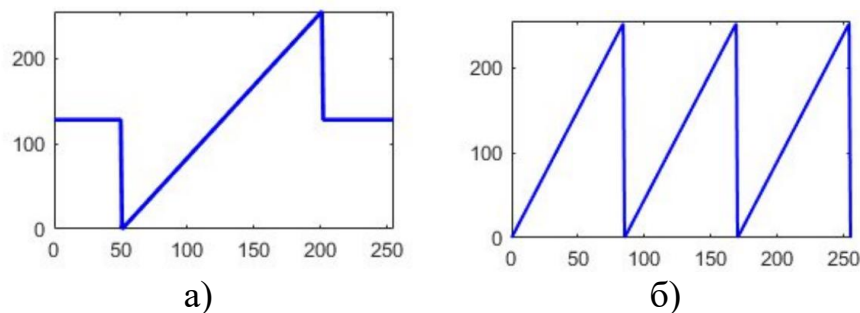


Рисунок 5 – Графики яркостных преобразований: стандартной пилообразной функции а); периодической пилообразной функцией б)

12. Для каждого типа контрастирования постройте и отобразите гистограмму grayscale-версии рядом с изображением. Оцените, как пилообразная функция влияет на распределение яркостей: создает ли она новые пики, усиливает ли локальный контраст.

13. Выполните гамма-коррекцию цветных изображений для трех коэффициентов (рис.6):

1.  $\gamma < 1$  (усиление темных областей);
2.  $\gamma = 1$  (без изменений);
3.  $\gamma > 1$  (усиление светлых областей).

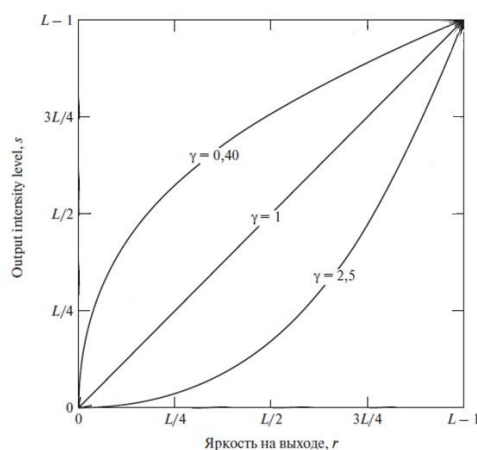


Рисунок 6 – Графики преобразований гамма-коррекции с разными степенными коэффициентами

14. Отобразите в едином окне три изображения, полученные с использованием разных коэффициентов гамма с указанием значений этих коэффициентов преобразования. Кратко опишите изменение общей яркости и контраста в зависимости от значений коэффициента.

15. Постройте и отобразите гистограммы grayscale-версий для каждого коэффициента гамма-коррекции. Проанализируйте влияние значения коэффициента на распределение яркостей для выбранных изображений – отобразите в отчете.

16. Проведите расширенный анализ реализованных методов яркостных преобразований:

а) с точки зрения эквализации гистограммы – определите, какой метод (линейное контрастирование, гамма-коррекция, пилообразное преобразование) максимально приближает распределение яркостей к равномерному. Используйте количественные показатели;

б) для улучшения визуального восприятия – оцените, какой метод лучше сохраняет детали, усиливает контраст и делает изображение более читаемым для человеческого глаза. Учитывайте субъективные критерии (естественность цветопередачи, отсутствие артефактов).

---

### **Дополнительное задание**

Эквализация гистограммы с использованием кусочно-линейной функции

1. Для выбранного изображения вручную выделите 4–7 диапазона яркостей на основе формы исходной гистограммы.

2. Найдите кусочно-линейную функцию преобразования, которая максимизирует выравнивание распределения яркостей в каждом диапазоне. Выведите формулу функции в отчете, указав коэффициенты для каждого сегмента.

3. Примените найденную функцию к изображению (цветному и grayscale).

4. Отобразите исходное и преобразованное изображения в едином окне. Постройте и сравните их гистограммы. Оцените эффективность эквализации по количественным и качественным критериям.

## Требования к отчету

Отчёт должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы и краткое описание теоретической базы (яркостные преобразования, гистограммы, гамма-коррекция);
3. Ход выполнения работы:
  - Листинги кода MATLAB с комментариями к каждому этапу;
  - скриншоты исходных и преобразованных изображений (с подписями и нумерацией);
  - Таблицы с параметрами преобразований (пороги среза для пилообразного контрастирования) и количественными показателями (энтропия, контраст);
  - Анализ результатов: сравнение методов, оценка артефактов, рекомендации по выбору подходов;
4. Выводы по работе с обобщением полученных навыков.

Формат отчета: PDF-файл объемом 12–18 страниц, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Лабораторная работа № 4

### Высокочастотная и низкочастотная фильтрация изображения

#### Цель работы

Освоить основные алгоритмы фильтрации цифровых изображений, приобрести навыки применения методов низкочастотных и высокочастотных фильтров и научиться оценивать эффективность методов для повышения информативности изображений и подготовки к дальнейшему анализу.

---

#### Теоретические сведения к лабораторной работе

Операции фильтрации подразделяются на два основных типа: низкочастотные и высокочастотные. Сам термин фильтрации говорит о том, что к принятию (пропусканию) или подавлению выбирается определенный тип частотных компонент. В случае низкочастотного фильтра идет пропускание низких частот, что дает эффект размывания (сглаживания) изображения. В то же время как эффект применения высокочастотных фильтров направлен на выделение границ объектов и детектирование больших перепадов яркости на изображении.

**Низкочастотные фильтры** пропускают компоненты низких частот (плавные изменения яркости), подавляя высокочастотные детали (шум, тонкие текстуры). Это приводит к **сглаживанию** и **размытию** изображения. **Высокочастотные фильтры**, напротив, подавляют низкие частоты и сохраняют (или усиливают) высокочастотные компоненты. В результате **подчеркиваются границы** и **повышается резкость**, но может усилиться шум.

По принципу действия операции фильтрации разделяются на пространственные и частотные.

**Пространственная фильтрация** основана на применении локальных операций к пикселям изображения в пределах заданной окрестности (окна, маски, ядра или фильтра). Размер окрестности, симметрия маски, задаваемая операция фильтрации влияют на результат обработки. Ниже представлено краткое описание основных видов пространственных фильтров.

Линейные низкочастотные фильтры (например, усредняющий «блочный-фильтр»  $3 \times 3$ ) вычисляют отклик как взвешенную сумму значений пикселей в окрестности. Результат нормируется множителем, равным единице, деленной на сумму коэффициентов маски.

Нелинейные низкочастотные фильтры используют порядковые статистики. Самым известным среди нелинейных фильтров является медианный фильтр, эффективно подавляющий импульсный шум без сильного размытия границ.

Низкочастотный гауссов фильтр сглаживает изображение с учетом весовых коэффициентов, убывающих по закону нормального распределения; выбор размера ядра определяет степень размытия. Задания ядра гауссового размытия можно представить выражением:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x+y)^2}{2\sigma^2}}$$

Высокочастотные пространственные фильтры основаны на вычислении первой и второй производных распределения яркости, которое позволяют детектировать резкие перепады в интенсивности пикселей (границы объектов) так как они соответствуют скачкам значениями производных. Применение высокочастотных фильтров позволяет выделять контуры, подчеркивать детали и улучшать четкость изображения.

**Частотная фильтрация** опирается на **преобразование Фурье**, позволяющее представить изображение как сумму синусоидальных компонент разных частот. Основные этапы частотной фильтрации:

1. **Прямое преобразование Фурье (ДПФ)** переводит изображение  $f(x, y)$  в частотную область, формируя спектр  $F(u, v)$ .

2. **Операция фильтрации** путем поэлементного умножения полученного спектра функции изображения на передаточную функцию фильтра  $H(x, y)$

$$G(u, v) = H(u, v) F(u, v).$$

3. **Обратное преобразование Фурье** возвращает обработанное изображение  $g(x, y)$  из частотной в пространственный вид. Математически преобразование будет иметь вид:

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[H(u, v) F(u, v)].$$

Применение частотной фильтрации требует: расширения изображения до размеров параметров функции фильтра; центрирования спектра (умножение на  $(-1)^{x+y}$  перед ДПФ); выбора передаточной функции  $H(u, v)$ , соответствующей задаче фильтрации.

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выберите два цифровых изображения разного разрешения и уровня зашумленности (например, одно с высоким уровнем шума, второе с минимальным шумом). Считайте изображения в среду MATLAB с помощью функции *imread*. Запишите данные файлов (размер, глубина цвета, цветовая модель) с помощью *imfinfo*.

2. Отобразите каждое исходное цветное изображение в отдельном графическом окне MATLAB с помощью функции *imshow*. Добавьте заголовок с указанием имени файла, формата и разрешения.

3. Реализуйте функцию медианной фильтрации для каждого изображения. Размер окна сканирования (например,  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$  или  $7 \times 7$ ) задайте как параметр функции. Обоснуйте выбор размера окна:

- для изображений с минимальным шумом предпочтительны окна  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$ ;
- для сильного шума допустимо увеличение окна до  $7 \times 7$ , но с учетом возможного размытия деталей.

4. Отобразите исходные и отфильтрованные изображения в едином окне. В каждой секции укажите размер окна (например, «Медианный фильтр, окно  $3 \times 3$ »). Оцените подавление шума и сохранение границ.

5. Выполните фильтрацию Гаусса для каждого цветного изображения с двумя размерами ядра:  $3 \times 3$  (слабое сглаживание) и  $5 \times 5$  (умеренное сглаживание).

Укажите и обоснуйте параметры фильтрации: параметр  $\sigma$  (рекомендуемые значения:  $\sigma = 0,5$  для  $3 \times 3$ ,  $\sigma = 1$  для  $5 \times 5$ ).

6. Отобразите все варианты фильтрации (исходное,  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ) в едином окне и сравните степень сглаживания и подавления шума.

7. Сравните результаты медианной и гауссовой фильтрации по критериям подавления шума (оцените визуально и через SNR или PSNR); оформите результаты в виде таблицы с количественными и качественными показателями.

8. Для выделения границ по маскам  $[1 \ 0; 0 \ -1]$  и  $[0 \ 1; -1 \ 0]$  примените оператор Робертса. Обработайте каждый цветовой канал отдельно, затем объедините результаты.

9. Отобразите исходное изображение и три результата (маска 1, маска 2, градиент) в едином окне. Отметьте четкость границ и уровень шума.

10. Выполните фильтрацию Превитта для цветного изображения, используя три варианта:

- горизонтальная маска  $[-1 \ 0 \ 1; -1 \ 0 \ 1; -1 \ 0 \ 1]$ ;
- вертикальная маска  $[-1 \ -1 \ -1; 0 \ 0 \ 0; 1 \ 1 \ 1]$ ;
- градиент.

11. Отобразите исходное изображения и три результата обработки в едином окне.

12. Аналогично пункту 10 примените вертикальный и горизонтальный оператор Собеля по маскам  $[-1 \ 0 \ 1; -2 \ 0 \ 2; -1 \ 0 \ 1]$  и  $[-1 \ -2 \ -1; 0 \ 0 \ 0; 1 \ 2 \ 1]$ . Далее вычислите градиент.

13. Отобразите результаты в едином окне. Сравните полученные результаты с фильтрацией Превитта: отметьте усиление границ и чувствительность к шуму.

14. Выполните высокочастотную фильтрацию оператором Лапласа с использованием ядер  $3 \times 3$  и  $5 \times 5$ .

15. Отобразите исходное и два преобразованных изображения в едином окне. В отчете укажите оценку изменения возможности детектирования границ и усиление шума.

16. Сравните реализованные методы высокочастотной фильтрации по чёткости границ, уровню шума (оцените через среднеквадратическую ошибку), естественному восприятию (субъективная оценка).

Оформите результаты в таблицу с выводами о преимуществах каждого метода.

---

### **Дополнительное задание. Обратная фильтрация для устранения смаза**

#### **1. Выбор изображения со смазом**

Подберите цифровое изображение с явным эффектом смаза (например, из-за движения камеры). Отобразите его в графическом окне MATLAB, указав в заголовке тип смаза (линейный, радиальный и т. д.).

#### **2. Подбор функции фильтра Винера**

Найдите или подберите передаточную функцию фильтра Винера для выбранного изображения. Учитывайте:

- модель смаза (функция рассеяния точки, PSF);
- отношение сигнал/шум (SNR).

Используйте встроенные функции MATLAB (*deconvwnr*) или реализуйте алгоритм вручную.

#### **3. Винеровская фильтрация**

Выполните обратную Винеровскую фильтрацию для смазанного изображения.

#### **4. Визуализация и анализ результатов**

Отобразите рядом исходное и восстановленное изображения в едином окне. Оцените:

- уменьшение смаза (четкость границ);
- подавление артефактов (колебания, шум);
- сохранение деталей (текстуры, мелкие объекты).

Сделайте выводы о применимости метода для разных типов смаза.

---

### **Требования к отчету**

Отчёт должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы и краткое описание теоретической базы (низкочастотные и высокочастотные фильтры, операторы Робертса, Превитта, Собеля, Лапласа);
3. Ход выполнения работы:
  - листинги кода MATLAB с комментариями к каждому этапу;
  - скриншоты исходных и обработанных изображений (с подписями и нумерацией);
  - таблицы с параметрами фильтрации (размер окна,  $\sigma$ ,  $k$ ) и количественными показателями (SNR, PSNR, контраст);
  - анализ результатов: сравнение методов, оценка артефактов, рекомендации по выбору фильтров;
4. Выводы по работе с обобщением полученных навыков.

Формат отчета: PDF-файл объемом 15–20 страниц, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Лабораторная работа № 5 Генерация шумов на изображении

### Цель работы

Изучить методы генерации различных типов шумов на цифровых изображениях, освоить алгоритмы фильтрации изображений разной степени зашумленности, провести сравнительный анализ эффективности методов подавления шумов с использованием количественных метрик оценивания.

### Теоретические сведения к лабораторной работе

**Шум в цифровых изображениях** — это случайная величина изменения интенсивности на изображении, возникающая из-за физических процессов при регистрации сигнала матричным приемником. Его появление обусловлено несовершенством работы сенсора и внешними помехами.

Особенно заметен шум при слабом освещении, когда он маскирует минимально различимый уровень истинной яркости, ограничивая динамический диапазон фотоприемника (отношение максимальной яркости к минимальному уровню, определяемому шумом).

Динамический диапазон фотоприемников при регистрации изображений определяется как отношение максимально возможного значения измеренной яркости к минимальному уровню яркости, которые система способна представить.

Верхний предел определяется насыщением, а нижний — шумом. Оба этих параметра определяются чувствительностью конкретного матричного фотоприемника (рис.7).

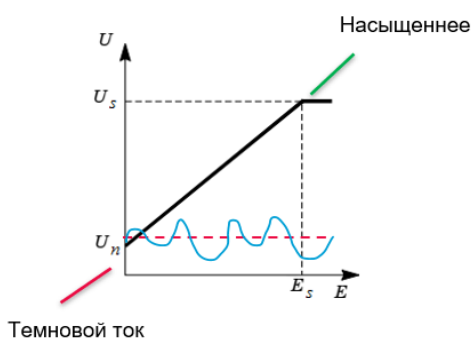


Рисунок 7 – График чувствительности матричного приемника

Типы шумов в зависимости от природы его появления. К ним относятся **геометрический шум, появляющийся** вследствие индивидуальных оптических и

электрических свойств чувствительных элементов матрицы, и **аддитивный шум, который** возникает из-за неравномерности темновых токов накопления по кристаллу.

Общая модель искажения изображения записывается как

$$g(x,y) = h(x,y) f(x,y) + n(x,y).$$

где  $f(x,y)$  — исходное неискажённое изображение;  $h(x,y)$  — искажающая функция (например, функция размытия);  $n(x,y)$  — аддитивный шум;  $g(x,y)$  — результат искажения.

Из вышеуказанного выражения видно, что шум является одной из основных искажающих характеристик изображения. Для количественной оценки зашумленности изображения используют метрику отношения сигнал-шум (SNR) которая показывает, насколько сигнал превосходит шум.

Шум моделируется с использованием различных функций плотности вероятности, и, в зависимости от разных способов математического представления, можно выделить несколько моделей.

Таблица 2 – Описания моделей генерации шумов

Гауссов шум	описывается нормальным распределением, характеризуется средним значением и дисперсией
Импульсный шум	проявляется как случайные белые или чёрные пиксели
Шум Рэлея	описывается функцией плотности распределения Рэлея
Экспоненциальный шум	описывается экспоненциальной функцией
Равномерный шум	описывается постоянной плотностью вероятности

Искусственная генерация шума необходима для таких задач, как тестирование алгоритмов коррекции шумов с контролируемым уровнем зашумленности, а также расширения обучающих выборок для нейронных сетей, повышая их устойчивость к реальным шумам.

## Порядок выполнения лабораторной работы

### Часть 1. Наложение на изображение различных типов шумов

1. Выберите цифровое изображение в формате \*.jpg с наличием нескольких средних и мелких объектов (рекомендуемый размер изображения 800×800 пикселей).

2. Нанесите на изображение поочередно шумы на основе разных функций распределения вероятностей:

- Гауссов шум с заданием вручную параметра стандартного отклонения  $\sigma$ .
- Шум Рэлея с заданием вручную параметра масштаба  $a$ .
- Экспоненциальный шум с заданием вручную параметра масштаба  $a$ .
- Импульсный шум («соль и перец») с заданием вручную параметра плотности шума  $p$ .
- Равномерный шум — задайте диапазон распределения вручную.

Для каждого типа шума подберите параметры так, чтобы было визуально различить степень зашумленности, но при этом сохранить узнаваемость объектов. Реализуйте генерацию с использованием встроенных функций MATLAB *imnoise* или вручную через генерацию случайных чисел.

3. Отобразите исходное изображение и все зашумленные версии в едином окне, используя *subplot*. В каждой секции укажите тип шума и его параметр. Оцените визуальное влияние каждого шума на детализацию, и контраст, и высветление.

## **Часть 2. Фильтрация сгенерированных шумов**

1. Выберите затемненное цифровое изображение в формате \*.jpg с явным наличием «естественного» шума, например, снимок при слабом освещении. Загрузите его в MATLAB с помощью функции *imread*.

2. Вычитите из изображения любой тип сгенерированного ранее шумового фона. Выполните вычитание поэлементно, учитывая границы значений пикселей (0–255 для uint8).

3. Отобразите исходное зашумленное изображение и результат вычитания в едином окне, с добавленными подписями, указывающими тип вычитаемого шума.

4. Оцените, насколько операция вычитания изменила узнаваемость деталей и контуров на изображении.

Сделайте выводы о применимости метода для разных типов шумов.

## **Часть 3. Фильтрация через усреднение копий**

1. Выберите и загрузите цифровое изображение в формате \*.jpg, аналогичное выбранному из пункта 1 части 1.

2. Сгенерируйте 5 версий изображения с наложенным гауссовым шумом, используя новый набор случайных чисел, чтобы моделировать независимые реализации шума.

3. Для каждого пикселя по всем 5 копиям вычислите среднее значение, используя функцию *mean*.

4. Примените медианную фильтрацию с окном  $3 \times 3$  к одной из зашумленных копий. Отобразите результаты усреднения и медианной фильтрации в едином окне.

5. Рассчитайте пиковое отношение сигнал/шум (PSNR) для обоих методов относительно исходного изображения.

6. Сравните PSNR и визуальное качество результатов усреднение копий и медианной фильтрации.

#### Часть 4. Последовательная и комбинированная фильтрация

1. К изображению из пункта 1 части 3 добавьте комбинированный шум: гауссов ( $\sigma = 10$ ) + импульсный ( $p = 0,02$ ). Реализуйте наложение последовательно или через суммирование шумовых матриц.

2. Примените четыре варианта фильтрации:

- усредняющий фильтр (окно  $5 \times 5$ );
- медианный фильтр (окно  $3 \times 3$ );
- последовательное применение: медианный  $\rightarrow$  усредняющий;
- последовательное применение: медианный  $\rightarrow$  усредняющий  $\rightarrow$  гауссов ( $\sigma = 1$ ).

3. Для каждого фильтра вычислите:

- MSE относительно исходного изображения;
- разность текущего результата с предыдущим фильтром (дельта MSE);
- предложите порядок фильтров, минимизирующий итоговый MSE.

4. Постройте и отобразите гистограммы яркости для каждого результата фильтрации, используя *imhist* или *histogram*.

5. Сравните гистограммы: отметьте изменения в распределении яркостей, сужение/расширение диапазона, подавление пиков шума. Сделайте выводы о влиянии операций на контраст и детализацию.

#### Дополнительное задание (необязательно)

##### Гибридная фильтрация с адаптивным весом

1. Для каждого пикселя вычислите:

- значение после усредняющего фильтра  $I_{avg}$ ;
- значение после медианного фильтра  $I_{median}$ .

2. Сформируйте выходное изображение как взвешенную сумму:

$$I_{out}(x,y) = \alpha \cdot I_{avg}(x,y) + (1 - \alpha) \cdot I_{median}(x,y),$$

где  $\alpha$  зависит от локального контраста (например,  $\alpha = 0,8$  в однородных областях,  $\alpha = 0,2$  на краях).

3. Реализуйте алгоритм определения «однородных» и «краевых» областей, например через градиент Собеля.
4. Оцените качество по PSNR и визуальному восприятию.
5. Сравните результат с усредняющим/медианным фильтрами.

---

### **Требования к отчету**

Отчёт должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы и краткое описание теоретической базы (типы шумов, методы фильтрации, метрики оценки);
3. Ход выполнения работы:
  - листинги кода MATLAB с комментариями к каждому этапу;
  - скриншоты исходных и обработанных изображений (с подписями и нумерацией);
  - таблицы с параметрами шумов и фильтров, значениями PSNR, MSE, SNR;
  - анализ результатов: сравнение методов, оценка артефактов, рекомендации по выбору фильтров;
4. Выводы по работе с обобщением полученных навыков.

Формат отчета: PDF-файл объемом 18–25 страниц, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## **Лабораторная работа № 6** **Сегментации объектов на изображении**

### **Цель работы**

Приобрести практические навыки сегментации объектов на цифровом изображении с использованием различных подходов автоматической сегментации. Изучить основные алгоритмы сегментации, освоить их реализацию и провести сравнительный анализ эффективности методов при работе с изображениями различной степени однородности текстур и яркостных характеристик.

---

### **Теоретические сведения к лабораторной работе**

Сегментация изображения — это процесс разделения цифрового изображения на отдельные области (сегменты или регионы), каждый из которых соответствует определенному объекту или части сцены. Основная задача сегментации – упростить представление изображения для дальнейшего анализа, выделив значимые объекты на фоне остальных элементов, а также подготовить данные для дальнейшей классификации объектов.

Выделяют два типа сегментации: автоматическая и интерактивная.

Автоматическая сегментация выполняется без взаимодействия с пользователем. На вход подается изображение, на выходе получается маска или набор регионов.

Особенность интерактивной сегментации в том, что она включает обязательный этап взаимодействия с пользователем в качестве ввода начальной информации (маркирование «объекта» и «фона»), также возможно уточнение данных на промежуточных этапах.

**Оценка результата сегментации проводится по критериям:** каждый пиксель принадлежит одному региону; регионы — связные области; регионы не пересекаются; пиксели одного региона однородны (по яркости, цвету и т.д.); регионы различны по заданному критерию.

В данной работе рассматриваются только виды и методы реализации автоматической сегментации. Поэтому ниже рассмотрим методы автоматической сегментации и их особенности

### **Пороговая сегментация**

Пороговая сегментация — это простой и эффективный метод, основанный на выборе порогового значения для интенсивности или цвета пикселей.

Изображение разделяется на две или более областей в зависимости от того, превышает ли яркость пикселя заданный порог.

Наиболее распространенные алгоритмы пороговой сегментации:

- **Global Otsu's Thresholding** (глобальная бинаризация методом Оцу) — вычисляет оптимальный порог для всего изображения на основе гистограммы яркостей.

- **Adaptive (Local) Otsu's Thresholding** (локальная бинаризация) — разбивает изображение на блоки и вычисляет порог для каждого блока отдельно.

### **Сегментация на основе выделения контуров**

Данный тип методов сегментации основан на выделении контуров и границ объектов на изображении посредством применения операторов высокочастотной фильтрации или целых алгоритмов на основе этих операторов. Наиболее известными из-за своей эффективности и универсальности являются метод с применением оператора Собеля и алгоритм Canny.

Оператор Собеля, как и большинство операторов высокочастотной фильтрации, является дифференциальным и используется для детектирования и выделения границ изображения посредством анализа вектора изменения интенсивности при рассмотрении градиента яркости. Он основан на принципе частных производных функции изменения интенсивности изображения в направлениях осей координат.

Алгоритм Canny отличается наибольшей эффективностью при обнаружении границ на изображении, так как помимо ядра алгоритма, оператора высокочастотной фильтрации, использует еще предварительное преобразование, в качестве сглаживающего фильтра Гаусса, а также уточнение границ после применения оператора Собеля. Однако в силу многоэтапной обработки это может привести к затрате значительных ресурсов по мощности вычислений, что сказывается на времени работы алгоритма.

После реализации алгоритма Собеля идет первый этап уточнения линий, которые были детектированы оператором как границы, и это этап называется «Подавление не-максимумов (Non-maximum Suppression)». Он состоит из выделения локальных максимумов в направлении градиента и утончения границ до одного пикселя.

Второй этап уточнения – это двойная пороговая фильтрация и гистерезис. Гистерезис по-другому можно назвать связыванием или объединением границ. Смысл двойной фильтрации в использовании сразу двух порогов: верхнего и нижнего. Верхний порог детектирует «сильные» границы, а нижний порог определяет «слабые» границы для того, чтобы их продолжить или связать с сильными.

## **Сегментация на основе регионов**

Методы сегментации на основе регионов разделяют изображение на связанные области с однородными свойствами. Наиболее известными среди таких методов являются метод выращивания областей, метод разбиения и слияния и метод водораздела.

Особенностью метода «Выращивания областей» (Region Growing) является то, что в первую очередь на самом изображении определяется базовая точка, он же пиксель на изображении. Выбор такой точки надо всегда осуществлять из области множества точек, однозначно определяющих объект и являющейся его частью, при этом рекомендуется брать наиболее характерную по интенсивности точку (как правило, центральную). Работа метода начинается с базовой точки, и далее идет расширение региона точек через добавление соседних пикселей до тех пор, пока выполняется установленный критерий однородности интенсивности или цвета.

Метод «Разбиение и слияние» (Split-and-Merge) основан на разбиении исходного изображения на много областей до тех пор, пока каждая область не будет включать в себя пиксели одной интенсивности. Первоначально изображение разбивается на четыре больших области, и затем в каждой из этих областей идет разбиение на более и более мелкие квадраты. Затем полученные мелкие области объединяются с соседними по заданному критерию однородности.

Метод «Водораздела» (Watershed Segmentation), как видно из названия, рассматривает изображение как топографическую карту, где интенсивность каждой области соответствует «глубине бассейна» этой топографической карты, а темные границы (фон) – хребты, разделяющие эти бассейны. Алгоритм основан на поиске «водоразделов», то есть границ между областями (связными компонентами), содержащих локальные максимумы.

Алгоритм сегментации методом водораздела включает следующие последовательные шаги:

1. Для корректного определения границ каждого водораздела и избежания пересегментации или объединения двух связанных областей необходимо проводить предобработку исходного изображения с применением морфологических операций. Типичными для такого рода операций являются эрозия, дилатация, открытие, закрытие. Это также позволяет частично подавить шум и мелкие детали, улучшает качество выделения маркеров и снижает влияние артефактов на результат сегментации.

2. Определение границ самих «бассейнов» происходит через вычисление расстояния от локального максимума до локального минимума. Таким образом, для каждого пикселя, однозначно принадлежащему объекту, вычисляется

расстояние до ближайшего фонового пикселя. Математически это выражается через функцию расстояния

$$D(x, y) = \min \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2},$$

где  $(\bar{x}, \bar{y})$  – координаты фоновых пикселей изображения  $I$ .

Итогом вычисления является карта расстояний, которая позволяет выделить центральные области объектов, которые станут потенциальными маркерами переднего плана.

3. Поиск локальных максимумов. На карте расстояний определяются локальные максимумы — точки, интенсивность которых выше, чем у соседних пикселей. Эти точки служат кандидатами для маркеров переднего плана, так как они соответствуют центрам объектов.

4. Вычисление маркеров переднего плана. На основе связности пикселей выделяются связные компоненты, соответствующие отдельным объектам. Каждый маркер представляет собой область, где пиксели связаны между собой и имеют схожие характеристики интенсивности.

5. Определение фонового маркера. Алгоритм водораздела применяется к карте расстояний с использованием маркеров переднего плана. Граничная область, не отнесенная к объектам, автоматически определяется как фон. Это позволяет четко разделить объекты и фон на изображении.

6. Детектирование «неопределенной области». «Неопределенная область» — это зона, которая не может быть однозначно отнесена ни к фону, ни к объекту. Она вычисляется путем вычитания области маркеров переднего плана из области, обратной фоновому маркеру. Эта область будет заполнена в процессе работы алгоритма водораздела.

7. Объединение маркеров в единую матрицу. Все полученные маркеры (передний план, фон и неопределенная область) объединяются в единую матрицу меток. Каждый маркер получает уникальный идентификатор, который используется для построения итоговой сегментации.

### **Сегментация на графах**

Методы на графах представляют изображение в виде графа, где пиксели — вершины, а связи между ними — ребра. Задача сегментации сводится к поиску минимального разреза графа, разделяющего изображение на области. Алгоритм использует графовые модели для интерактивной сегментации, позволяет пользователю уточнять маску объекта и фона, итеративно улучшает разделение, минимизируя энергию графа.

## Порядок выполнения лабораторной работы

### Часть 1. Сегментация с применением базовых методов обработки изображений

1. Выберите и загрузите два цифровых изображения, форматов \*.jpg, с различающимися характеристиками однородности (например, одно с несколькими элементами однородной текстуры, другое со множеством элементов динамически меняющейся яркости или наличием градиента), рекомендуемый размер 800×800 пикселей.

Обоснуйте выбор изображений с точки зрения их пригодности для тестирования методов сегментации (например, контрастность, сложность фона, наличие мелких деталей).

2. Выполните сегментацию полутонового варианта исходного изображения с применением адаптивной бинаризации. Реализуйте два подхода: глобальная и локальная бинаризация методом Оцу

#### Глобальная бинаризация методом Оцу:

- преобразуйте изображение в полутоновый формат;
- реализуйте по методу Оцу вычисление оптимального порога бинаризации на основе анализа гистограммы яркостей и примените найденный порог для получения бинарного изображения;
- визуализируйте исходное изображение, его гистограмму интенсивности и отметьте на ней найденный порог;
- сохраните и предоставьте отчет с результатами, включая график гистограммы с отмеченным порогом.

#### Локальная бинаризация методом Оцу:

- задайте размер неперекрывающиеся блоков на изображении (например, 32×32, 64×64 пикселя);
- для каждого блока вычислите локальный порог по методу Оцу и примените локальные пороги для бинаризации соответствующих блоков;
- аргументируйте выбор размера окна (блока), указав, как он влияет на детализацию и подавление шума;
- сравните результаты при разных размерах окон, предоставив соответствующие визуальные и количественные данные.

*Примечание.* Используйте результат бинаризации в качестве маски для сегментации: обрежьте изображение по области с максимальной интенсивностью (т.е. выделите объект, соответствующий белым пикселям бинарной маски).

3. Представьте в одном окне исходные изображения и результаты сегментации, полученные разными подходами. Проведите анализ полученных данных и отобразите в отчете: а) какой метод лучше сохраняет границы объектов; б) оценку влияния размера окна на локальную бинаризацию; в) случаи потери деталей или появления артефактов.

4. Выполните сегментацию изображения методом выделения границ с применением высокочастотной фильтрации:

- выберите и обоснуйте тип высокочастотного фильтра, например, Собеля, Канны или Лапласа, который будете использовать для выделения границ;
- полученный результат фильтрации необходимо преобразовать в бинарную маску границ;
- уточните маску, удалив шум и соединив разорванные границы, если они есть;

5. Объедините исходное изображение и результат сегментации после выделения границ, указав, какой фильтр был использован и почему (например, устойчивость к шуму, способность выделять тонкие линии). Кратко опишите этапы постобработки маски границ. Включите в отчет: изображение до и после фильтрации; бинарную маску границ; финальный сегмент, полученный после постобработки.

6. Выполните сегментацию изображения методом выращивания областей (Region Growing).

Выберите начальную точку для роста региона (например, пиксель с максимальной яркостью или заданный вручную). Задайте критерий однородности, например, порог разности яркостей между текущим пикселем и средним значением региона. Примените итерационный алгоритм присоединения пикселей к региону, пока выполняется критерий.

7. Визуализируйте исходное изображение и результат сегментации методом выращивания областей. В отчете необходимо указать: исходное изображение, карту роста региона с отмеченной начальной точкой и итоговую маску сегментации.

8. Проанализируйте эффективность реализованных методов (бинаризация Оцу, высокочастотная фильтрация, выращивание областей) применительно к выбранным изображениям:

- сравните качество выделения объектов (четкость границ, полнота охвата);
- укажите сильные и слабые стороны каждого метода (например, чувствительность к шуму, зависимость от параметров);
- сделайте вывод о наиболее подходящем методе для каждого изображения и обоснуйте его.

## **Часть 2. Сегментация методом водораздела и подавление избыточной сегментации**

1. Выберите изображение с близко расположенными схожими по структуре объектами так, чтобы оно содержало большое число локальных минимумов на карте яркостей. Такое изображение создает сложности для традиционных методов

сегментации (примера, клетки под микроскопом, зерна риса на поверхности, капли жидкости, кадр винограда).

2. Выполните поэтапно сегментацию методом водораздела для каждого этапа указав и обосновав выбор функций и ее параметров.

Обязательными этапами для выполнения метода являются:

- Примените сглаживающий низкочастотный фильтр для уменьшения влияния шума на поиск локальных минимумов.

Укажите параметры фильтра ( $\sigma$ ) и объясните их выбор.

- Подготовьте маркеры водоразделов через морфологические операции, среди которых наиболее часто используемыми являются такие морфологические операции, как эрозия и дилатация. Они позволяют отделить близко расположенные связные области и удалить мелкие неинформативные детали.

Обоснуйте выбор структурного элемента (форма, размер) и последовательности операций.

- Постройте карту расстояний от каждого пикселя до ближайшего фонового пикселя.
- Примените пороговую сегментацию к карте расстояний для выделения потенциальных маркеров объектов.
- Выделите неопределенную область на полученном изображении, которую нельзя уверенно отнести ни к фону, ни к объекту, чаще всего это зоны перехода между объектами.
- Создайте карту маркеров, пронумеровав связные компоненты следующим образом: фон — 1, объекты — от 2 и выше, неопределенная область — 0;
- Реализуйте метод водораздела, используя полученную карту маркеров.
- Выделите границы сегментов на итоговом изображении.

3. Отобразите все промежуточные этапы сегментации (исходное изображение, результат подавления шума, карту расстояний, карту маркеров, неопределённую область, итоговую сегментацию) и для каждого этапа кратко опишите полученный эффект. Представьте результаты в виде таблицы или составного окна с подписями.

4. Визуализируйте исходное изображение и итоговый результат сегментации методом водораздела. Наложите контуры сегментов на исходное изображение для наглядного сравнения.

5. Проанализируйте результат сегментации:

- подсчитайте общее количество выделенных сегментов;
- измерьте число ложных сегментов (мелких областей, не соответствующих реальным объектам) и оцените их долю от общего числа;
- сформулируйте вывод о целесообразности применения метода водораздела для данного типа изображений и способах его оптимизации.

---

### Дополнительное задание (необязательно)

#### Многомасштабная сегментация: объединение результатов разных методов для повышения точности

**Цель:** исследовать возможность повышения точности сегментации за счёт объединения результатов нескольких методов.

#### Задание:

1. Примените три метода сегментации к одному изображению:
  - метод водораздела (из части 2);
  - кластеризацию K-Means (задайте  $K = 3-5$ , работайте в RGB-пространстве или LAB для улучшения цветопередачи);
  - третий метод на выбор (например, бинаризация Оцу или выращивание областей).
2. Создайте композитную маску: пиксель принадлежит классу, если  $\geq 2$  методов согласны с его классификацией. Опишите логику голосования и обработку конфликтов.
3. Проанализируйте результаты:
  - постройте матрицу совпадений между методами, указав процент совпадения пикселей в каждом классе;
  - предложите критерий выбора «базового» метода для композиции (например, метод с наивысшим IoU на тестовом наборе).

---

### Требования к отчету

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы;
3. Ход выполнения работы:
  - Листинги программных реализаций
  - Скриншоты промежуточных и итоговых результатов (изображения, маски, результат сегментированного изображения) с подписями и нумерацией;
  - Для удобства сдачи допускается включать краткое описание теоретической базы к советуемым пунктам выполнения работы

- Таблицы с характеристиками изображения
- Анализ результата сегментации каждым методом с выводами по каждому этапу работы;

4. Выводы по работе.

Формат отчета: PDF-файл, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Лабораторная работа №7 Сопоставление двух изображений

### Цель работы

Изучить и реализовать различные подходы к сопоставлению двух изображений с предварительной обработкой разного уровня сложности, освоить методы предобработки изображений, алгоритмы поиска ключевых точек и дескрипторов, а также оценить эффективность выбранных методов для разных сценариев сопоставления.

---

### Теоретические сведения к лабораторной работе

Основная идея сопоставления изображений состоит в том, чтобы найти соответствие между элементами двух или более изображений одной и той же сцены, снятых в разных условиях.

В рамках данного методического пособия авторами предложено формальное разделение уровней сопоставления изображений на простейший/усовершенствованный/сложный/специальный для того, чтобы было проще упорядочить существующие методы. Однако этот тип классификации не является общепринятым (рис.8).

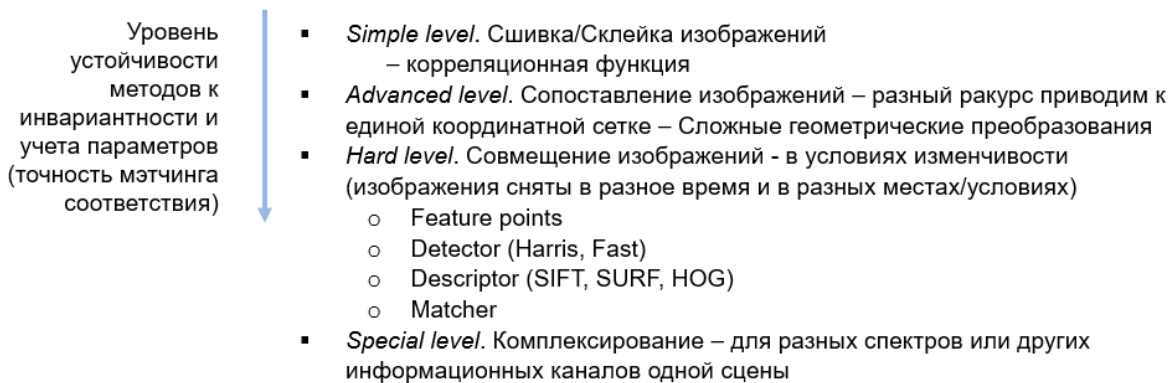


Рисунок 8 – Классификация методов сопоставления изображений по уровню их устойчивости

На простейшем уровне (*Simple level*) речь идет о сшивании или склейке изображений при идентичных условиях съемки: одинаковом угле и дистанции, неизменной сцене и одинаковых параметрах съемки (длина волны, экспозиция и т.д.). Ключевое условие — наличие перекрывающихся областей с идентичной информацией. В таких случаях эффективно работает корреляционный метод, основанный на поиске пиксельных соответствий путем сравнения профилей яркости в окрестности потенциально соответствующих точек. Мера сходства двух

изображений как функция взаимного смещения вычисляется как квадрат среднеквадратичного отклонения (СКО) яркостей соответствующих пикселей. Минимизация СКО эквивалентна максимизации значения корреляции. Этот подход хорошо подходит для сшивки неискаженных изображений с одинаковой шириной и параметрами съёмки.

На усовершенствованном уровне (Advanced level) стоит задача сопоставления изображений, полученных с разных ракурсов и дистанций, что требует учета целого ряда геометрических преобразований. Примером такой задачи служит построение панорам. Здесь необходимо учитывать смещения, повороты, различия в масштабе (когда один и тот же объект имеет разные размеры на разных изображениях), изменения яркости и положения камеры. Полностью добиться инвариантности относительно масштаба, яркости и положения камеры сложно, но можно достичь частичной инвариантности. Процесс построения панорамы включает поиск общих частей на изображениях, перенос проекций трехмерной сцены на общую координатную плоскость, цветокоррекцию и 2D-преобразования с учетом ракурсов съёмки.

Сложный уровень (Hard level) предполагает сопоставление изображений, снятых в разное время и в разных условиях: при разном освещении, с использованием приемников с различными параметрами (чувствительность, выдержка и т.д.). В таких случаях на помощь приходят методы, основанные на ключевых точках (feature points) — отличительных участках изображения, которые с высокой вероятностью будут найдены на другом изображении того же объекта. Эти точки позволяют справиться с изменениями ракурса, масштаба и перекрытиями.

Процесс сопоставления включает четыре основных этапа: поиск ключевых точек с помощью детекторов (Harris Corner Detector, FAST, MSER), вычисление дескрипторов — идентификаторов ключевых точек (SIFT, SURF, HOG), сопоставление ключевых точек по совпадению дескрипторов (методом грубого перебора, по евклидову расстоянию или с помощью приближенного поиска ближайшего соседа) и определение итогового преобразования координат на основе набора совпавших точек.

Специальный уровень (Special level) связан с комплексированием — объединением информации от нескольких изображений в одно более информативное. Это особенно актуально при съёмке ландшафта в разных спектральных диапазонах (ИК, УФ, видимый свет и т.д.), когда нужно получить комплексную картину объекта исследования.

Основные цели комплексирования — получение дополнительной информации, увеличение информативности изображения и преодоление факторов, препятствующих получению качественного изображения (туман, ночь и т.п.).

Более подробно рассмотрим алгоритмы уровня сопоставления, получившего наибольшее применение – сложный уровень (Hard level).

Ключевые точки (feature points) — отличительные участки изображения, которые с высокой вероятностью будут найдены на другом изображении того же объекта. Они позволяют справиться с изменениями ракурса, масштаба и перекрытиями.

**Основные этапы сопоставления:**

1. **Поиск ключевых точек** с помощью детекторов:

- Harris Corner Detector (HCD) — находит углы, где окрестность меняется при любом сдвиге. Работает с черно-белыми изображениями, вычисляя частные производные по осям.

- FAST (Features from Accelerated Segment Test) — использует машинное обучение для поиска углов.

- MSER (Maximally Stable External Regions) — основан на бинаризации изображений, находит стабильные области, инвариантные к масштабу и аффинным преобразованиям.

2. **Вычисление дескрипторов** — идентификаторов ключевых точек:

- SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) — строит пирамиду гауссианов и разностей гауссианов (DoG).

- SURF (Speeded Up Robust Features) — использует фильтры квадратной формы для ускорения поиска.

- HOG (Histogram of Oriented Gradients) — основан на подсчете градиентов в различных направлениях.

- **Сопоставление ключевых точек** реализуется тремя основными методами: метод грубого перебора; методом евклидова расстояния; приближенный поиск ближайшего соседа.

4. **Определение итогового преобразования координат** на основе набора совпавших ключевых точек. Строится модель преобразования (аффинная, проективная и т. д.), которая наилучшим образом совмещает изображения.

Таблица 3 – Основные методы сопоставления изображений

Поиск ключевых точек	Вычисление дескрипторов	Сопоставление ключевых точек
Maximally Stable External Regions (MSER)	Histogram of Oriented Gradients (HOG)	Brute Force (BF)
Features from Accelerated Segment Test (FAST)		Euclidean Distance (ED)
Harris Corner Detector (HCD)		Approximate Nearest Neighbors (ANN)
<b>Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)</b>		
<b>Speeded Up Robust Features (SURF)</b>		

Детектор должен обеспечивать инвариантность нахождения одних и тех же ключевых точек относительно преобразований изображений. После применения детектора можно определить только координаты ключевых точек, а они на каждом изображении разные.

Однако необходимо определять, какая ключевая точка одного изображения соответствует ключевой точке другого изображения.

**Дескриптор** — идентификатор ключевой точки, выделяющий ее из остальной массы ключевых точек. В свою очередь, дескрипторы должны обеспечивать инвариантность нахождения соответствия между ключевыми точками относительно преобразований изображений. Входными данными дескриптора являются изображение и набор ключевых точек, выделенных на заданном изображении.

К числу наиболее распространенных методов относятся Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) и Speeded-Up Robust Features (SURF), каждый из которых обладает своими преимуществами и особенностями.

**Метод SIFT** обеспечивает высокую инвариантность к масштабу, повороту и частично к изменениям освещения. Его работа начинается с построения пирамиды гауссианов — серии изображений, сглаженных с разными значениями параметра размытия. Затем вычисляются разности гауссианов (Difference of Gaussian, DoG) как результат попиксельного вычитания одного сглаженного изображения из другого с большим радиусом размытия:

$$\text{DoG}(x, y, \sigma_1, \sigma_2) = G(x, y, \sigma_1) \cdot I(x, y) - G(x, y, \sigma_2) \cdot I(x, y),$$

где  $G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x+y)^2}{2\sigma}}$  — гауссово ядро со степенью размытия ( $\sigma$ ),  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — параметры, определяющие ядро размытия,  $I(x, y)$  — интенсивность пикселей изображения с координатами  $x$  и  $y$ .

На основе DoG выявляются локальные экстремумы, которые рассматриваются как потенциальные ключевые точки. Для уточнения их координат применяется аппроксимация функции DoG многочленом Тейлора второго порядка. Далее каждой ключевой точке присваивается доминантная ориентация на основе анализа градиентов в её окрестности: строится взвешенная гистограмма направлений градиентов (обычно с 36 бинами), и выбирается направление с максимальной компонентой.

Дескриптор SIFT формируется путем деления окрестности ключевой точки на блоки (например, сетка 4 на 4), в каждом из которых строится гистограмма градиентов по 8 направлениям. В итоге получается вектор длиной 128 элементов, содержащий нормализованные значения всех гистограмм. Это обеспечивает устойчивость к изменениям масштаба и поворота.

**Алгоритм SURF** предлагает более быструю альтернативу SIFT за счет использования квадратных фильтров в качестве аппроксимации гауссова сглаживания. Ключевые точки определяются по максимальным значениям

матрицы Гессе (гессиана) — симметричной квадратичной формы второго порядка, характеризующей локальную кривизну функции интенсивности. Такой подход ускоряет поиск, но может снижать надежность обнаружения точек.

Дескриптор SURF строится по области вокруг ключевой точки и делится на 16 квадратов, в каждом вычисляются частные производные с использованием вейвлетов Хаара. Итоговый дескриптор представляет собой вектор длиной 64 элемента, включающий суммы производных и их абсолютных величин внутри каждого квадрата. Это делает его компактнее и быстрее в вычислении, чем дескриптор SIFT, хотя и с некоторой потерей точности.

Оба метода позволяют эффективно сопоставлять изображения, снятые с разных ракурсов, в разном масштабе и при разных уровнях освещения. Выбор между SIFT и SURF зависит от требований задачи: SIFT предпочтительнее там, где важна высокая точность и устойчивость к трансформациям, тогда как SURF подходит для сценариев, где критична скорость обработки и допустимо небольшое снижение надёжности ключевых точек.

---

## Порядок выполнения лабораторной работы

### Часть 1. Сопоставление изображений с отличающиеся яркостными и геометрическими характеристиками

1. Считайте в среду MATLAB исходные данные: изображения с названиями (рис. 9).

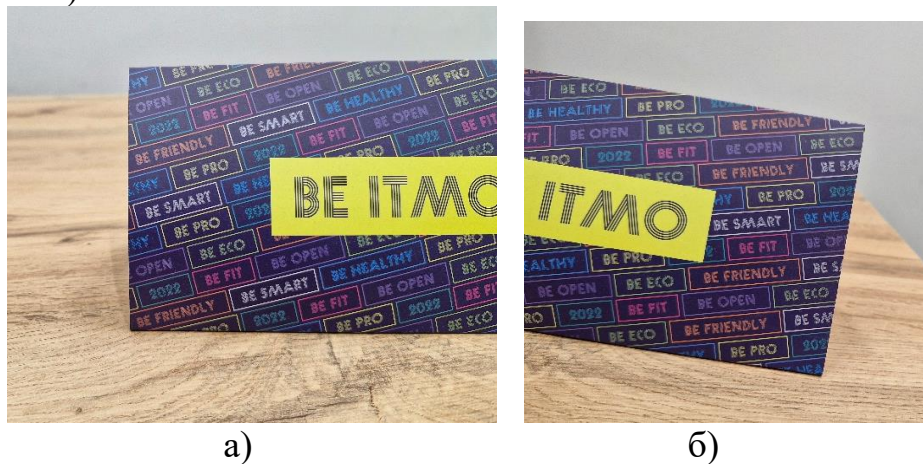


Рисунок 9 – Исходные изображения для сопоставления к первой части лабораторной работы №7

2. Проведите предобработку изображений с целью повышения эффективности работы алгоритмов сопоставления, включающую:

- Яркостные преобразования для коррекции яркости и сведения яркостных характеристик двух исходных изображений к единообразию.

- Геометрические преобразования с выполнением поворота одного из исходных изображений для его корректного совмещения с другим. При необходимости рекомендуется применять масштабирование.

Обоснуйте выбор параметров коррекции (коэффициент гамма-коррекции, угол поворота и тд).

3. Подберите и обоснуйте выбор наиболее эффективного алгоритма сопоставления. Для этого необходимо реализовать четыре основных этапа сопоставления:

- Выполните поиск ключевых точек для обнаружения характерных точек на обоих изображениях и сравните количество и распределение точек для каждого используемого детектора.

- Вычислите дескрипторы с использованием разных методов (например, SIFT, SURF) и оцените устойчивость дескрипторов к изменениям яркости и поворота.

- Реализуйте сопоставление ключевых точек для нахождения соответствий между точками и проанализируйте количество верных и ложных соответствий для каждой комбинации детектор-дескриптор.

- Выполните итоговое преобразование к единой сетке координат.

4. Проанализируйте результат сопоставления и оцените качество выполненных преобразований с помощью количественных и качественных показателей:

- Рассчитайте ошибку совмещения (в пикселях) по контрольным точкам;

- Визуализируйте совмещение изображений (наложение, карта расхождений);

- Сравните эффективность разных комбинаций детектор-дескриптор и обоснуйте выбор оптимального варианта.

## **Часть 2. Сопоставление сегментированных изображений с выделением центрального объекта с помощью бинарной маски**

1. Считайте в среду MATLAB исходные данные: изображения с названиями (рис. 10).

2. Выполните комплексную предобработку изображений с целью повышения эффективности работы алгоритмов сопоставления:

- Примените морфологические операции (эрозию, дилатацию) или медианную фильтрацию для удаления мелких шумов и артефактов фона.

- Выделение границ: используйте операторы Собеля, Канни или Лапласа для обнаружения границ объектов.

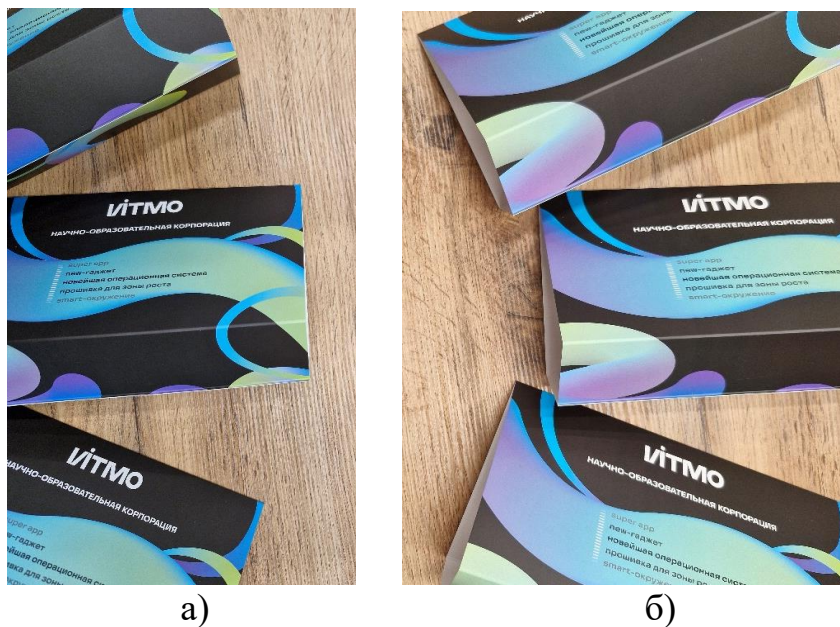


Рисунок 10 – Исходные изображения для сопоставления ко второй части лабораторной работы №7

3. Выполните поиск центрального объекта на изображении и реализуйте операцию сегментации данного объекта относительно всего изображения:

- Определите связные компоненты для разделения объектов на изображении.

- Выделите центральный объект путем определения центрального объекта на основе геометрических критериев (положение в кадре, размер, форма). Остальные объекты занулите (установите в 0).

- Создание бинарной маски через преобразование результата сегментации с использованием бинарной маски (0 — фон, 1 — объект). Примените маску к исходному изображению для выделения центрального объекта. Пример маски (рис.11):

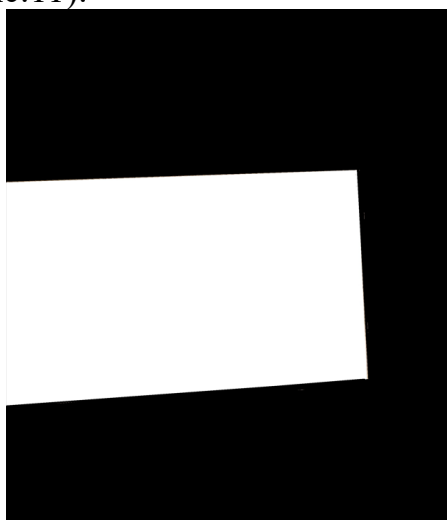


Рисунок 11 – Пример бинарной маски для сегментации изображения

- Предоставьте промежуточные результаты каждого этапа (очищенное изображение, карта границ, карта связных компонент, бинарная маска) и опишите выбор параметров.

4. Подберите и обоснуйте выбор наиболее эффективного алгоритма сопоставления сегментированных изображений. Для этого необходимо реализовать четыре основных этапа сопоставления (см. пункт 3 в первой части). Обратите внимание что:

- детекторы и дескрипторы должны работать только внутри области, заданной маской;

- оцените влияние сегментации на количество и качество ключевых точек;
- сравните результаты с несегментированными изображениями.

5. Проанализируйте полученные результаты, реализовав комплексный анализ:

- оцените улучшение/ухудшение эффективности совмещения после сегментации;

- визуализируйте итоговое совмещение (наложение сегментированных объектов, карта расхождений);

- проанализируйте влияние сегментации на устойчивость к изменениям условий съемки.

6. Подготовьте отчет с подробным описанием и оценкой качества выполненных преобразований

---

### **Требования к отчету**

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист с указанием названия работы, ФИО исполнителя и группы, даты выполнения;
2. Цель работы;
3. Ход выполнения работы:

- Листинги программных реализаций
- Скриншоты промежуточных и итоговых результатов (изображения, графики, гистограммы) с подписями и нумерацией;
- Для удобства сдачи допускается включать краткое описание теоретической базы к советующим пунктам выполнения работы
- Таблицы с характеристиками изображения
- Анализ полученных данных с выводами по каждому этапу работы;

4. Выводы по работе.

Формат отчета: PDF-файл, шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал 1,5, поля стандартные.

## Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное – М.: Техносфера, 2012. - 1104 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Шаветов С.В. Основы технического зрения: лабораторный практикум. — СПб: Университет ИТМО, 2017. — 86 с.
4. MATLAB Documentation. Computer Vision System Toolbox: [Электронный ресурс]  
URL: <https://www.mathworks.com/help/vision/index.html>.
5. Старовойтов В.В. Голуб Ю.И. Цифровые изображения: от получения до обработки / Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – 202 с.
6. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений: [Электронный ресурс] <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734?ysclid=m6urjpeq8a956815966#79>

Родикова Лилиана Сергеевна  
Маятин Александр Владимирович

**Методы обработки и анализа цифровых изображений  
в компьютерном зрении. Лабораторный практикум**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе



**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А