

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**
Факультет систем управления и робототехники

Лабораторная работа №6
Морфологический анализ изображений

Студенты: Бахтаиров Р.А.,
Сайфуллин Д.Р.
Поток: Тех.Зр R23 1.1
Преподаватель: Шаветов С.В.

Санкт-Петербург
2025 г.

Содержание

1	Цель работы	2
2	Теория	2
3	Базовые морфологические операции	3
4	Разделение объектов	6
5	Сегментация	10
6	Вывод	13
7	Вопросы к защите	14

1. Цель работы

Освоение принципов математической морфологии в области обработки и анализа изображений.

2. Теория

Математическая морфология — раздел прикладной математики и теории обработки изображений, основанный на анализе формы и структуры объектов с помощью линейно-сдвиговых преобразований множества пикселей. Морфологический подход рассматривает изображение A как множество точек в дискретном пространстве, а структурный элемент B — как небольшое «окно» для анализа локальной геометрии изображения.

Основные операции бинарной морфологии над множеством A и структурным элементом B :

- **Дилатация** (расширение):

$$A \oplus B = \{ z \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset \},$$

- **Эрозия** (сжатие):

$$A \ominus B = \{ z \mid (B)_z \subseteq A \},$$

- **Открытие** (удаление мелких объектов и шумов):

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B,$$

- **Замыкание** (заполнение «дырок» и соединение близких объектов):

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B,$$

Дополнительные производные операции:

- **Морфологический градиент** $\text{grad}(A, B) = (A \oplus B) - (A \ominus B)$, служит для выделения контура объекта.
- **Top-hat** $\text{tophat}(A, B) = A - (A \circ B)$, позволяет извлечь «светлые» мелкие детали.
- **Black-hat** $\text{blackhat}(A, B) = (A \bullet B) - A$, выявляет «тёмные» мелкие дефекты на фоне.
- **Hit-or-miss** — структурно-селективная операция поиска заданных шаблонов.

Структурный элемент B может иметь форму прямоугольника, креста или эллипса. Основные области применения математической морфологии:

- Фильтрация шумов и удаления мелких артефактов на бинарных изображениях.
- Сегментация и разделение перекрывающихся объектов (в том числе методом водораздела).
- Выделение контуров и структурных элементов формы.
- Поиск связных компонентов и анализ их статистических характеристик (площадь, границы, центр масс).

3. Базовые морфологические операции

В этой задаче необходимо выбрать произвольное бинарное с дефектами формы и применить к нему основные морфологические операции для удаления или минимизации этих дефектов.



Рис. 1: Исходное изображение с внешними выступами и внутренними «дырами».

На рисунке видны выбоины внутри объектов и мелкие выступы по контуру. Преобразуем изображение в оттенки серого:



Рис. 2: Исходное изображение в серых тонах.

Чтобы избавиться от мелких «дыр» внутри объектов, к изображению применим операцию удаления компонентов меньших 70 пикселей (`bwareaopen`), после чего результат инвертирован обратно.



Рис. 3: Исходное изображение после `bwareaopen`.

Эллиптическим структурным элементом 3×3 с двумя итерациями эрозии были «стёрты» тонкие выступающие фрагменты, отделив их от крупных областей.



Рис. 4: Исходное изображение после эрозии краёв.

На полученном после эрозии изображении снова применим операцию удаления компонентов меньших 140 пикселей. Это позволит окончательно избавиться от отдельных «висящих» линий.



Рис. 5: Исходное изображение после `bwareaopen`.

Чтобы компенсировать усадку от эрозии, проведем дилатацию тем же элементом с двумя итерациями — объекты распухли к исходным размерам.



Рис. 6: Исходное изображение после дилатации.

Далее три итерации операции замыкания закрыли узкие щели и разрывы, которые не удалось устранить предыдущими шагами.



Рис. 7: Исходное изображение после замыкания.

Для удаления оставшихся мелких шумов применим ещё один цикл `bwareaopen` (порог 80 пикселей) к инвертированному результату замыкания.



Рис. 8: Итог после всех этапов очистки.

Полученная последовательность операций обеспечивает:

- Надёжное удаление внутренних шумов без существенного искажения крупных объектов.
- Эффективное отделение мелких выступов через сочетание эрозии и удаления малых компонентов.
- Восстановление размеров объектов с помощью дилатации и замыкания, что сохраняет исходную форму.

4. Разделение объектов

В этой задаче мы разделили объекты на изображении с наложенными друг на друга элементами с помощью сочетания пороговой бинаризации и последовательных морфологических операций. Изображение с которым будем работать и его grayscale:



Рис. 9: Исходное изображение.



Рис. 10: Исходное изображение в серых тонах.

Применим бинаризацию с порогом 50 и `bwareaopen` с порогом 400, чтобы выделить карты на фоне.

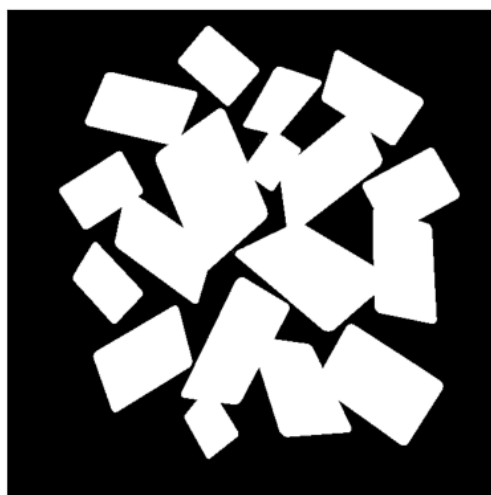


Рис. 11: Изображение после бинаризации.

В результате мы получили бинарное изображение, где карты выделены белым цветом, а фон — чёрным. Для надёжного определения центральных областей карт мы выполним трёхкратную эрозию эллиптическим элементом 10×10 и затем шестикратную эрозию прямоугольным 3×3 .

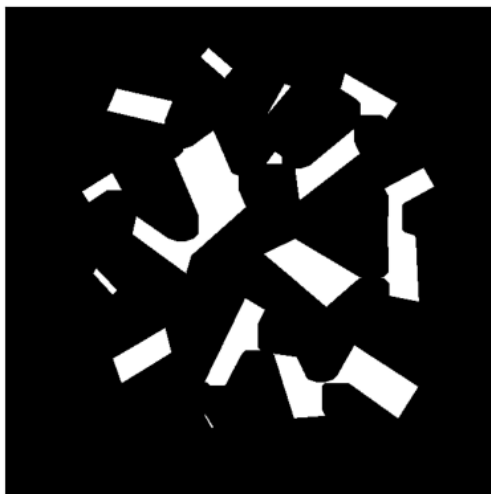


Рис. 12: Изображение после эрозии.

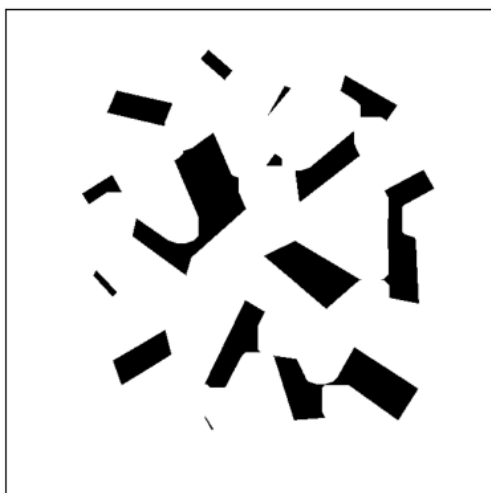


Рис. 13: Инверсия изображения после эрозии.

Инверсия этой маски дала первую приблизительную карту границ между объектами. Теперь мы можем последовательно «срезать» границу эрозией и удалить открытием, аккумулируя разницу на каждом шаге.

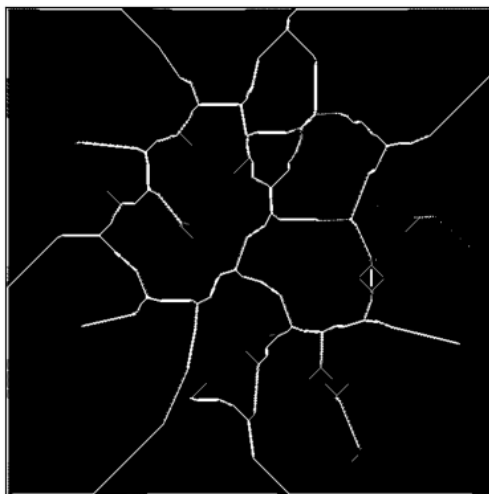


Рис. 14: Изображение с линиями разделения.

В результате получилась тонкая маска разделителей, чётко проходящая между картами.

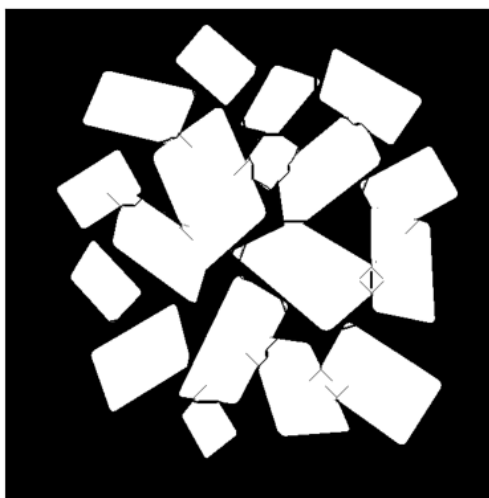


Рис. 15: Изображение с линиями разделения.

На рисунке показано, как маска исходных карт очищена от разделителей. Применим ее к исходному изображению:



Рис. 16: Финальный результат.

Мы видим как на исходном цветном изображении, в котором линии разделения обнулили пиксели-разделители, отделили карты друг от друга.

Можем сделать выводы:

- Комбинация «грубых» (большой элемент + многократная эрозия) и «тонких» (малый элемент + итеративное открытие) морфологических операций позволила чётко выделить центральные области и аккуратно вырезать узкие разделители.
- Маска разделителей оказалась достаточно тонкой, чтобы не нарушать форму карт, при этом полностью разрывая перекрытие.
- Финальное применение побитовой операции к исходному цветному изображению показало эффективность метода: все пункты наложения карт были успешно разъединены.

5. Сегментация

В этой задаче необходимо разделить перекрывающиеся круглые объекты на изображении методом управляемого водораздела. Последовательность шагов включает бинаризацию и очистку, выделение маркеров, построение объединённой карты маркеров и собственно запуск алгоритма watershed.

Изображение с которым будем работать и его преобразования:



Рис. 17: Исходное изображение.

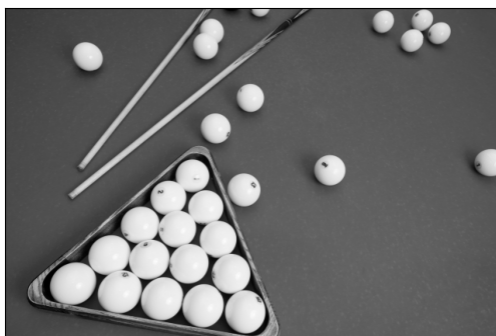


Рис. 18: Исходное изображение в серых тонах.

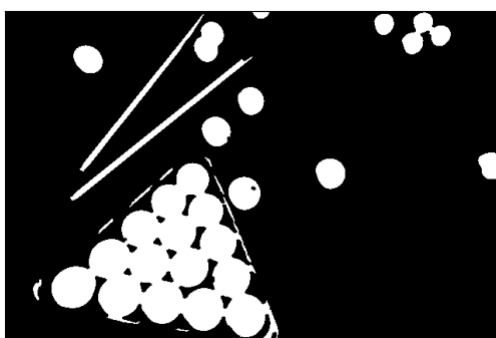


Рис. 19: Бинаризация + удаление мелких шумов.

На рисунке показан результат автоматической бинаризации, после чего с помощью двух операций `bwareaopen` (порог 20 px) и одного замыкания (структурный элемент 5×5) были удалены внутренние дефекты и сглажены контуры.

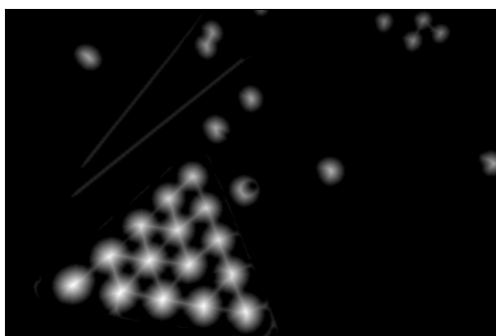


Рис. 20: Карта расстояний.

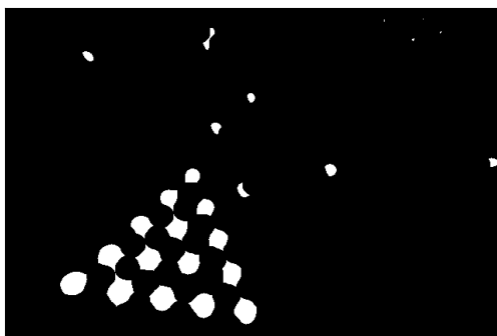


Рис. 21: Максимумы для переднего плана.

На карте расстояний локальные «блики» соответствуют центрам шаров. Порогирование при $0.46 * \text{максимального значения}$ даёт надёжную маску — маркеры переднего плана.

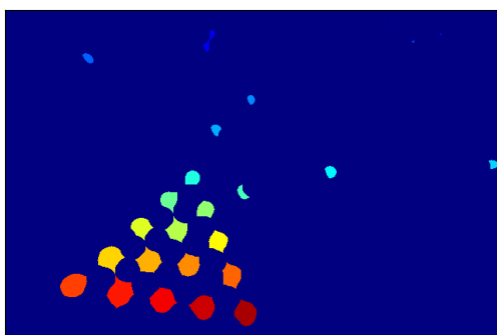


Рис. 22: Маркеры переднего плана.

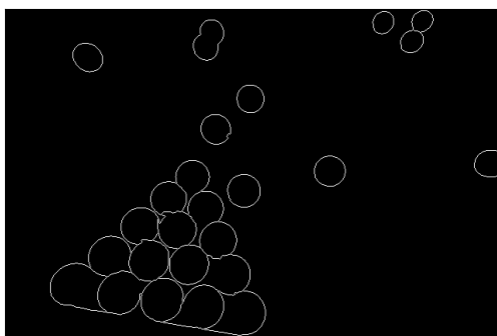


Рис. 23: Маска заднего плана.

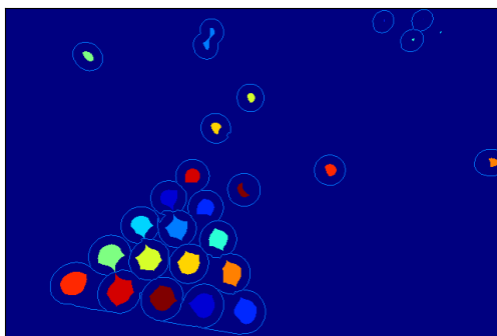


Рис. 24: Объединённая карта маркеров.

Фоновые маркеры извлекаются по контуру областей, помеченным алгоритмом *watershed* на предварительном проходе. Объединив передний план и задний план, мы получаем полную карту маркеров, которую подаём на второй запуск *watershed*.

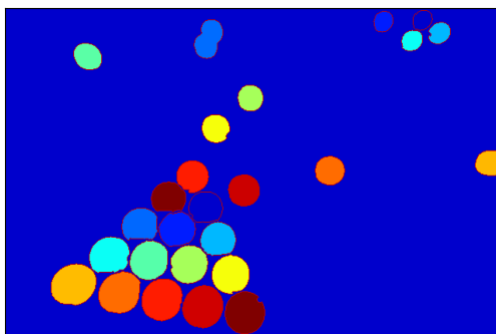


Рис. 25: Маркеры после водораздела.

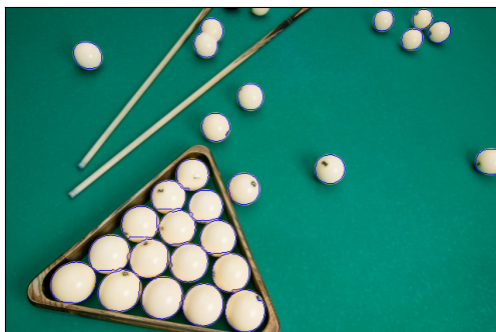


Рис. 26: Границы сегментов.

На итоговом изображении линии чётко разделяют соседние шары, несмотря на их касание. Сделаем выводы:

- Подход с дистанционной трансформацией и порогом $0.46 \cdot \max$ даёт стабильные маркеры переднего плана даже при неоднородном освещении.
- Раздельное выявление фона через первую итерацию *watershed* помогает избежать ошибок алгоритма при касании объектов.
- Итеративное уточнение карты маркеров позволяет получить чёткие границы сегментов без значительных артефактов.

6. Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы были достигнуты следующие результаты:

- Исследованы и применены базовые морфологические операции (эрозия, дилатация, открытие, замыкание), благодаря чему удалось эффективно удалять внешние выступы и внутренние «дыры» на произвольном бинарном изображении, а также получать производные карты для анализа локальных дефектов.
- Реализован алгоритм поиска связных компонентов, что позволило маркировать отдельные объекты, вычислять их статистические характеристики и визуализировать каждую компоненту в отдельный цвет.

- На изображении с перекрывающимися объектами (игральные карты) разработана последовательность морфологических операций для выделения центральных «ядер», построения тонких разделительных линий и получения отдельных объектов путём побитовых масок и комбинирования результатов.
- Освоен метод (*watershed*) для сегментации касающихся круглых объектов (шары). Были выделены надёжные маркеры переднего и заднего планов через дистанционную трансформацию, пороги́рование и предварительный проход алгоритма, что позволило получить чёткие границы сегментов даже при их плотном соприкосновении.

В результате выполненной работы получены универсальные приёмы морфологической обработки, которые могут быть успешно применены в задачах фильтрации шумов, выделения контуров, разделения перекрывающихся объектов и подготовки данных для дальнейшего анализа.

7. Вопросы к защите

1. Включает ли результат открытия в себя результат закрытия?

Нет. Открытие $(A \circ B = (A \ominus B) \oplus B)$ удаляет выступы и шум, а закрытие $(A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B)$ заполняет «дыры». Это разные операции с противоположными эффектами.

2. Какой морфологический фильтр необходимо применить, чтобы убрать у объекта выступы?

Операция *открытия*: сначала эрозия для удаления выступов, затем дилатация для восстановления формы.

3. Каким образом с помощью морфологических операций можно найти контур объекта?

Контур можно получить как разницу между дилатацией и эрозией:

$$\text{grad}(A, B) = (A \oplus B) - (A \ominus B).$$

Для внутреннего контура: $A - (A \ominus B)$, для внешнего: $(A \oplus B) - A$.

4. Что такое морфология?

Математическая морфология — раздел обработки изображений, изучающий преобразования множества пикселей с помощью структурного элемента для анализа и модификации формы объектов.